

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

**Změny spolehlivostních charakteristik
v závislosti na stáří vozidel**

**Changes of Reliability Characteristics
Depending on Vehicles Age**

Student: Bc. Michal Trčka
Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Famfulík, Ph.D.

Ostrava 2012

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Trčka**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **2301T003 Dopravní technika a technologie**
Specializace: **20 Silniční doprava**
Téma: **Změny spolehlivostních charakteristik v závislosti na stáří vozidel**
Changes of Reliability Characteristics Depending on Vehicles Age

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Analýza struktury a stáří vozidlového parku
3. Výpočetní metody používané pro hodnocení spolehlivosti
4. Stanovení charakteristik spolehlivosti a nákladů na údržbu využitím experimentálních dat
5. Technicko – ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Famfulík, J. Zkoušky spolehlivosti (vybrané stochastické metody). Ostrava: VŠB TU Ostrava. 2010.
2. Famfulík, J. Teorie údržby. Ostrava: VŠB – TU Ostrava. 2006. ISBN 80-248-1029-8
3. Daněk, A. Výpočetní metody obnovy dopravních prostředků. Ostrava: Repronis Ostrava. ISBN 80-86122-41-7
4. ČSN IEC 61650: 1998, Techniky analýzy dat o bezporuchovosti

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21. 5. 2012

..... *Michal*

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21. 9. 2012



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Michal Trčka

Adresa trvalého pobytu autora práce: Vlasty Vlasákové 964/19

Ostrava 3, Bělský les

700 30

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

TRČKA, M. *Změny spolehlivostních charakteristik v závislosti na stáří vozidel: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2012, 80 s. Vedoucí práce: Famfulík, J.

Diplomová práce se zabývá změnou spolehlivostních charakteristik v závislosti na stáří vozidel. Pro sledování těchto změn byla vybrána vozidla Karosa B952 stáří pěti, sedmi a devíti let, a autobusy Solaris Urbino 12 totožného stáří pocházející z vozidlového parku Dopravního podniku Ostrava a.s. V úvodu práce je charakterizována struktura a stáří řešeného vozidlového parku společně se základními technickými parametry vybraných vozidel. Následně jsou uvedeny výpočetní metody používané pro hodnocení spolehlivosti, pomocí kterých jsou stanoveny charakteristiky spolehlivosti a náklady na údržbu s využitím experimentálních dat z provozu. V závěru práce jsou pak zjištěné spolehlivostní charakteristiky společně s náklady na údržbu zhodnoceny z technického a ekonomického hlediska.

Klíčová slova: autobus; spolehlivost; bezporuchovost; pohotovost; náklady na údržbu.

ANNOTATION OF THESIS

TRČKA, M. *Changes of Reliability Characteristics Depending on Vehicles Age: Diploma Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2012, 80 p. Thesis head: Famfulík, J.

The topic of this diploma thesis is to study the changes of reliability characteristics depending on vehicles age. Two types of buses („Karosa B952“ and „Solaris Urbino 12“, both of them 5, 7 and 9 years of age) coming from „Ostrava – Transport, joint-stock company“, were used for monitoring these changes. In the first part of this thesis, the structure of fleet is described, together with fundamental parameters of some representative vehicles. In the next part, calculation methods for reliability evaluation are presented. These calculation methods are used to evaluate the reliability characteristics and the maintenance expenses using the service experimental data. In the final part, the found out reliability characteristics together with maintenance expenses are discussed from the technical and economical point of view.

Keywords: bus; dependability; reliability; availability; maintenance costs.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	9
1 Úvod	10
2 Analýza struktury a stáří vozidlového parku	11
2.1 Struktura vozidlového parku	11
2.2 Stáří vozidlového parku	13
2.3 Základní technické parametry zvolených typů vozidel	15
2.3.1 Karosa B952 (B952 E)	15
2.3.2 Solaris Urbino 12	17
3 Výpočetní metody používané pro hodnocení spolehlivosti	19
3.1 Základní pojmy spolehlivosti	19
3.2 Náhodná veličina	21
3.2.1 Distribuční funkce	21
3.2.2 Hustota pravděpodobnosti	22
3.2.3 Doplněk k distribuční funkci	23
3.2.4 Intenzita náhodné veličiny	23
3.2.5 Střední hodnota	23
3.3 Použitá rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny	24
3.3.1 Exponenciální rozdělení	24
3.3.2 Weibullovo rozdělení	26
3.4 Odhad parametrů s využitím lineární regrese	28
3.5 Pořadová statistika	29
3.5.1 Použití pořadové statistiky pro intervalové odhady parametrů Weibullova rozdělení pravděpodobnosti	31
3.6 Součinitel pohotovosti	32
4 Stanovení charakteristik spolehlivosti a nákladů na údržbu s využitím experimentálních dat	34
4.1 Základní struktura a popis experimentálních dat	34
4.2 Karosa B952 (B952 E)	35

4.2.1 Intenzity poruch	35
4.2.2 Výpočet intervalových odhadů střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel stejného stáří	36
4.2.3 Model predikce intervalu střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel stejného stáří.....	42
4.2.4 Výpočet intervalových odhadů střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla.....	44
4.2.5 Model predikce intervalu střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla	45
4.2.6 Součinitel pohotovosti.....	47
4.2.7 Náklady na údržbu	49
4.3 Solaris Urbino 12.....	51
4.3.1 Intenzity poruch	52
4.3.2 Výpočet intervalových odhadů střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel stejného stáří	53
4.3.3 Model predikce intervalu střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel stejného stáří.....	55
4.3.4 Výpočet intervalových odhadů střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla.....	57
4.3.5 Model predikce intervalu střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla	58
4.3.6 Součinitel pohotovosti.....	61
4.3.7 Náklady na údržbu	63
5 Technicko-ekonomické zhodnocení.....	66
5.1 Hodnocení bezporuchovosti.....	66
5.2 Hodnocení intervalů střední doby mezi poruchami včetně modelů predikce	69
5.3 Hodnocení pohotovosti	71
5.4 Hodnocení nákladů na údržbu	72
5.5 Závěr	73
6 Seznam obrázků	74
7 Seznam tabulek	76

8 Seznam použité literatury	77
9 Seznam příloh	78

Seznam použitých symbolů a zkratek

A	Ustálený součinitel pohotovosti	[-]
$A(t)$	Součinitel pohotovosti	[-]
$NÚ$	Náklady na údržbu	[Kč]
$f(t)$	Hustota pravděpodobnosti spojitě náhodné veličiny	[-]
$F(t)$	Distribuční funkce náhodné veličiny	[-]
m	Parametr měřítka Weibullova rozdělení pravděpodobnosti	[-]
$MTBF$	Střední doba mezi poruchami	[h]
$p(x)$	Pravděpodobnostní funkce diskrétní náhodné veličiny	[-]
$R(t)$	Bezporuchovost	[-]
t_0	Parametr tvaru Weibullova rozdělení pravděpodobnosti	[h]
T_{so}	Střední doba obnovy	[h]
T_{sp}	Střední doba bezporuchového provozu	[h]
$W2p$	Weibullovo dvouparametrické rozdělení pravděpodobnosti	[-]
$\lambda(t)$	Intenzita poruch	[1/h]
$\lambda_e(t)$	Empirická intenzita poruch	[1/h]
Γ	Eulerova gamma funkce	[-]

1 Úvod

Cílem této diplomové práce je porovnání změn spolehlivostních charakteristik v závislosti na stáří vozidel. Zkoumaná vozidla jsou provozována Dopravním podnikem Ostrava a.s., přesněji pocházejí z provozoven Hranečnick a Poruba. Jedná se tedy o autobusy Karosa B952 (952 E) a Solaris Urbino 12, z nichž každý typ je zastoupen patnácti vozidly, která jsou dále rozdělena do tří stejně početných (pětičlenných) skupin v závislosti na jejich stáří, čili jde o skupiny stáří pěti, sedmi a devíti let. Získaná empirická data, pomocí kterých jsou stanoveny základní spolehlivostní charakteristiky a náklady na údržbu, pocházejí ze systému řízení údržby Korund z let 2009 a 2010.

V úvodu diplomové práce nejprve analyzuji a charakterizuji strukturu a stáří celého vozidlového parku a dále uvádím základní technické parametry vybraných typů autobusů. Následující kapitola je poté věnována teoretické části práce, ve které jsou uvedeny základní pojmy spolehlivosti a výpočetní metody používané pro její hodnocení. S využitím experimentálních dat z provozu autobusů jsem poté stanovil základní charakteristiky spolehlivosti. Jedná se především o určení empirických intenzit poruch jednotlivých vozidlových součástí, výpočet intervalových odhadů střední doby mezi poruchami včetně modelů predikce pro jednotlivé skupiny vozidel i pro každé vozidlo samostatně, výpočet a predikce součinitele pohotovosti a určení celkových nákladů na údržbu. Na závěr diplomové práce pak uvádím komplexní zhodnocení porovnávaných autobusů z technického a ekonomického hlediska, čili jedná se o zhodnocení bezporuchovosti, intervalů MTBF včetně příslušných modelů predikce, pohotovosti a nákladů na údržbu.

2 Analýza struktury a stáří vozidlového parku

V této kapitole je charakterizována základní struktura vozidlového parku Dopravního podniku Ostrava a.s. společně s jeho stářím a dále jsou podrobněji popsány základní technické parametry vozidel, které byly zvoleny pro sledování změn spolehlivostních charakteristik.

2.1 Struktura vozidlového parku

Dopravní podnik Ostrava a.s. nabízí a poskytuje služby městské hromadné dopravy na území Statutárního města Ostravy a přilehlém území. Přeprava cestujících je zabezpečována sítí autobusových, tramvajových a v neposlední řadě také trolejbusových linek, které jsou zahrnuty do Ostravského dopravního integrovaného systému. Dopravní prostředky závislé trakce pak tvoří přibližně jednu polovinu vozidlového parku, přičemž druhá polovina je tvořena autobusy výhradně městského provedení.

Autobusový provoz tvoří významnou a nezbytnou složku při přepravě velkých počtů cestujících na kratší vzdálenosti. V současnosti je provozováno 58 autobusových linek a jejich délka činí 735,5 kilometrů. Autobusový park je rozdělen mezi dvě hlavní provozovny, a to Autobusy Poruba a Autobusy Hranečnick, kde je také prováděna komplexní údržba a opravy těchto vozidel.

K datu 31. 12. 2011 vlastnil Dopravní podnik Ostrava a.s. celkem 305 autobusů různých výrobců a různého typu. Provozovaný vozidlový park je pak převážně zastoupen autobusy dvou hlavních výrobců, a to tuzemského výrobce Karosa Vysoké Mýto (v současnosti pod názvem Iveco Czech Republic a.s., který je používán od 1. 1. 2007) a zahraničního Solaris Bus & Coach S.A., který byl založen v roce 2001 a sídlí v Polsku ve městě Bolechow u Poznaně. Z hlediska konstrukčního provedení jsou používána vozidla dvounápravová a třinápravová, nízkopodlažní či kloubová. Na městských linkách s nižšími přepravními požadavky (menším počtem cestujících) jsou nasazovány minibusy, jejichž kapacita je však omezena danými konstrukčními rozměry (počtem míst k sezení a stání).

Pro zlepšení ovzduší ve městě a snížení množství výfukových plynů a následně dopadů na životní prostředí byl zkonstruován elektrobus SOR EBN 10,5, u kterého je pro jízdu použit bateriový pohon. Tato vozidla jsou dílem české společnosti SOR Libchavy spol.

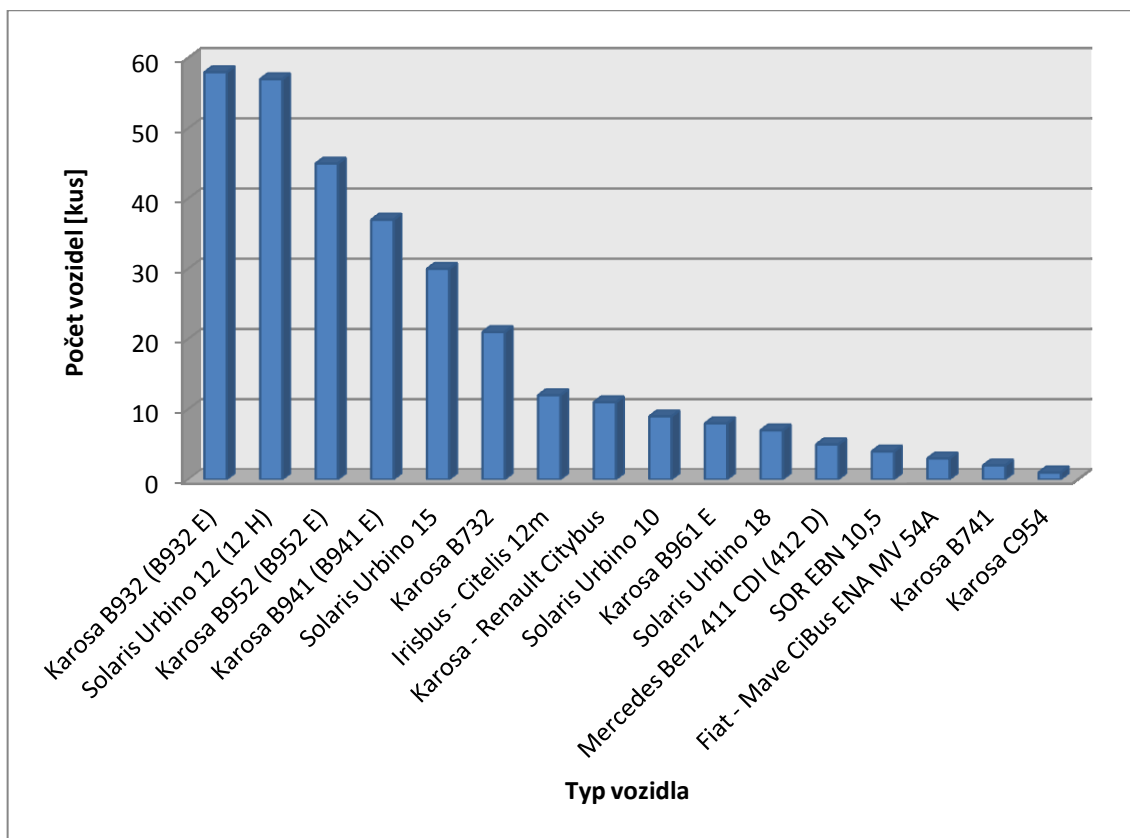
s.r.o., trakční výzbroj je dodávána firmou Cegelec a.s. a elektromotor firmou Pragoimex a.s. Zabudování všech komponentů elektropohonu a zprovoznění vozidla bylo následně provedeno zaměstnanci Dopravního podniku Ostrava a.s. V současnosti jsou používány pouze 4 autobusy tohoto typu, avšak do budoucnosti je plánován jejich další nákup.

Z hlediska počtu vozidel je nejrozšířenějším typem Karosa B932 (popřípadě verze B932 E odlišující se od původní verze pouze drobnými inovacemi), která je provozována v počtu 58 kusů. Srovnatelné množství vozidel je zastoupeno nízkopodlažními vozidly Solaris Urbino 12 o počtu 57 kusů. Dále je vozidlový park tvořen 45 vozidly typu Karosa B952 (popřípadě mírně inovované verze B952 E), 37 vozidly Karosa B941 (popřípadě verze B941 E), 30 nízkopodlažními vozidly Solaris Urbino 15, 21 vozidly Karosa B732, 12 vozidly Irisbus – Citelis 12m a 11 vozidly Karosa – Renault Citybus.

V nižších počtech jsou následně provozována vozidla typu Solaris Urbino 10, zastoupena celkem 9 kusy, kloubové autobusy Karosa B961 (respektive B961 E) o počtu 8 kusů a nízkopodlažní třínápravové kloubové autobusy Solaris Urbino 18 v počtu 7 kusů. Dále je ve vozidlovém parku zastoupeno 8 minibusů, a to 5 vozidel značky Mercedes Benz 411 CDI (popř. 412 D) a 3 vozidla Fiat – Mave Cibus ENA MV 54A. Jak již bylo uvedeno výše, jsou také využívána 4 vozidla na bateriový pohon SOR EBN 10,5. K nejdéle používaným kloubovým autobusům pak patří Karosa B741 v počtu 2 kusů, jejichž stáří přesahuje 16 let a v brzké době je plánováno jejich vyřazení z provozu. Posledním zastoupeným typem je jeden model linkového meziměstského autobusu Karosa C954, který je výhradně používán na lince mezi městem Ostrava a letištěm Leoše Janáčka v Mošnově.

Pro vyšší přehlednost jsou jednotlivé typy autobusů graficky znázorněny na obrázku 2.1 a společně s uvedením příslušného počtu vozidel zastoupeného ve vozidlovém parku uvedeny v příloze A [3].

Závěrem této kapitoly lze říci, že počet vozidel byl za poslední dva roky snížen o 9 kusů, avšak struktura vozidlového parku byla rozšířena o dva nové typy vozidel (Solaris Urbino 10 a SOR EBN 10,5).



Obr. č. 2.1: Přehled struktury vozidlového parku [autor]

2.2 Stáří vozidlového parku

Stáří vozidlového parku hraje v současnosti velice významnou úlohu z hlediska spolehlivosti, bezporuchovosti, udržitelnosti či nákladů na údržbu dopravních prostředků. Je především závislé na jeho postupné a neustále obměně. Ta je zajišťována vyřazením provozovaných vozidel, u kterých již uplynula jejich ekonomická životnost a jejichž opožděná likvidace by následně mohla způsobit značné ekonomické či hmotné škody, a zakoupením nových. Jelikož s rostoucím stářím se zvyšuje také počet a intenzita poruch, stoupají tak náklady na údržbu. Tudíž pouze pravidelnou obměnou lze zabezpečit bezpečný a plynulý provoz.

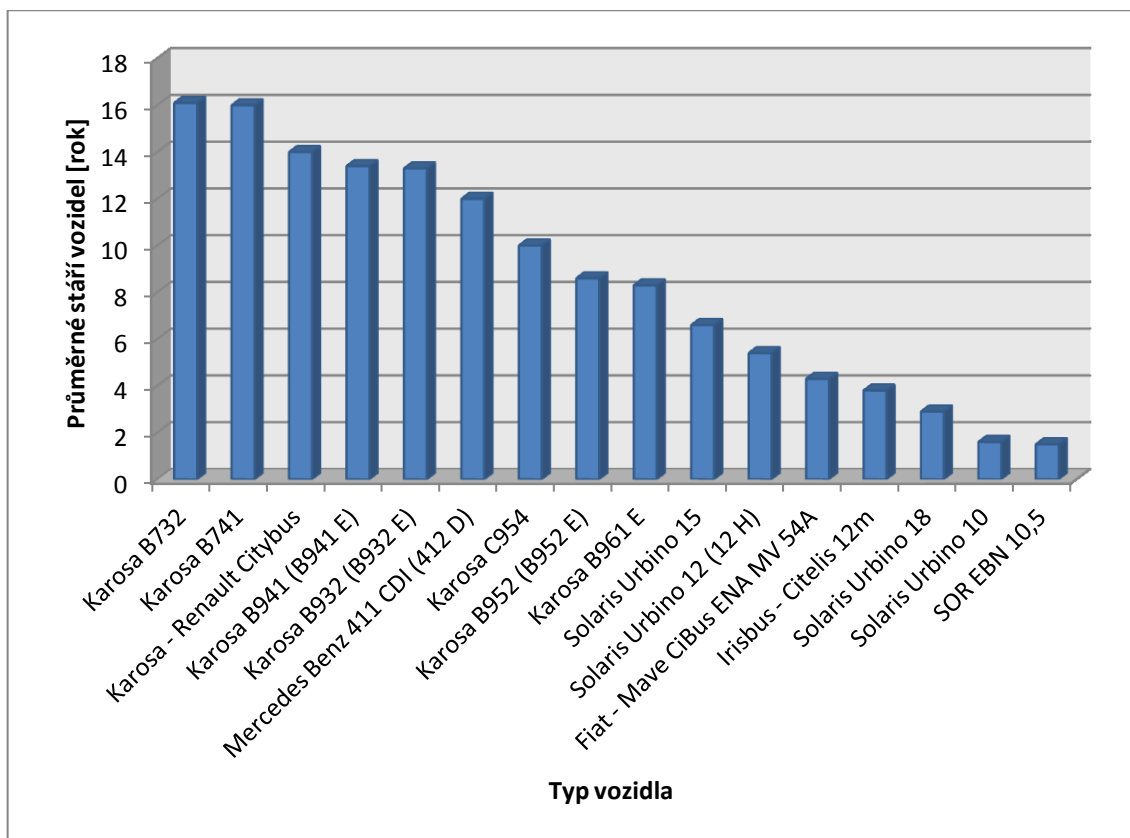
Průměrné stáří vozidlového parku Dopravního podniku Ostrava a.s. je přibližně 9,4 let, avšak vzhledem k předešlému období (2008 - 2010) došlo k nárůstu této hodnoty o 0,5 let. Z tohoto lze vyvodit, že i když dochází k neustálé obměně vozidel (přibližně 20 kusů autobusů ročně), stáří vozidlového parku se dále zvyšuje, tudíž tato obměna není dostatečná a vozidlový park neustále zastarává.

V současnosti nastává situace, kdy přibližně jedna polovina provozovaných autobusů je starší deseti let (přesná hodnota činí 158 vozidel) a 58 vozidel je dokonce staří patnácti let. Většina z těchto dopravních prostředků by měla být ihned vyřazena a nahrazena novými. Avšak k uskutečnění této razantní obměny by bylo potřeba velmi vysokých finančních nákladů, tudíž je momentálně nereálná. Vzhledem k vysoké náročnosti přepravy v městském provozu, počtu ujetých kilometrů, stavu pozemních komunikací a každodennímu využívání, lze tedy říci, že současný stav stáří vozidlového parku přesahuje ekonomickou životnost vozidel. Proces likvidace pak nastává přibližně v rozmezí šestnácti a sedmnácti let.

Přehled průměrného stáří vozidel v závislosti na jeho typu je graficky znázorněn na obrázku 2.2 a dále je pro názornost rovněž uveden tabulkový přehled v příloze B. Z výše uvedeného grafického přehledu vyplývá, že mezi nejstarší autobusy patří většina vozidel Karosa různých typů a minibusy Mercedes Benz, jejichž stáří činí 12 let [3].

Mezi nejstarší vozidla značky Karosa lze zařadit autobusy Karosa B732, jejichž průměrné stáří činí 16,1 let, kloubové autobusy Karosa B741, jejichž průměrné stáří činí 16 let a čtrnáct let staré Karosa - Renault Citybus. Následují pak Karosa B941 (B941 E) staré 13,4 let, Karosa B932 (B932E) staré 13,3 let, Karosa C954 stáří deseti let, Karosa B952 (952 E) stáří 8,6 let a Karosa B961 E stáří 8,3 let.

Naopak mezi novější typy vozidel, která jsou v současnosti provozována Dopravním podnikem Ostrava a.s., lze zařadit nízkopodlažní autobusy Solaris Urbino různých typů (typ Solaris Urbino 15 stáří 6,6 let, Solaris Urbino 12 stáří 5,4 let, Solaris Urbino 18 stáří 2,9 let a Solaris Urbino 10 stáří 1,6 let), minibusy Fiat – Mave CiBus ENA MV 54A stáří 4,3 let, Irisbus – Citelis 12m stáří 3,8 let a nejmladšími vozidly jsou pak elektrobusesy SOR EBN 10,5, jejichž stáří činí 1,5 let.



Obr. č. 2.2: Přehled průměrného stáří vozidlového parku [autor]

2.3 Základní technické parametry zvolených typů vozidel

Pro sledování změn spolehlivostních charakteristik byly vybrány autobusy Karosa B952 (952 E), stáří pěti, sedmi a devíti let, a autobusy Solaris Urbino 12 totožného stáří. Každá skupina stejně starých dopravních prostředků je početně zastoupena pěti vozidly, tudíž pro každý typ vozidla bylo vyhodnocováno 15 autobusů. Výběr byl proveden s ohledem na skutečnost, že výše uvedená vozidla patří mezi nejpočetněji zastoupená a také z hlediska konstrukčního provedení jsou podobná (počet náprav, počet dveří, umístění motoru, rozměry karoserie atd.).

2.3.1 Karosa B952 (B952 E)

Karosa B952 je model městského autobusu produkovaného tuzemským výrobcem Karosa Vysokém Mýto od roku 2002, jenž se stal nástupcem osvědčeného modelu B932. Koncem téhož roku začal jejich služeb využívat i Dopravní podnik Ostrava a.s. V současnosti jich vlastní 45 kusů a jde o třetí nejrozšířenější typ v jeho vozidlovém parku.

Z hlediska konstrukční stránky je tento autobus shodný s již zmiňovaným předchůdcem B932. Jedná se o dvounápravové vozidlo s polosamonosnou karoserií, která je sešroubovaná do základního skeletu a následně oplechována. Motor společně mechanickou převodovkou je umístěn za zadní nápravou, která byla vyrobena firmou Meritor. Jako pohonné jednotky jsou používány šestiválcové, kapalinou chlazené naftové motory Iveco Cursor F2BE 1682D o objemu 7790 cm³ a výkonu 180 kW (245 koní) při 2050 ot/min splňující normu Euro 3. Dále je do vozidla montována pětistupňová převodovka Praga P5 120 nebo šestistupňová, vyráběná firmou ZF Friedrichshafen AG s označením ZF 6S 1600, díky kterým může být tento model autobusu používán i na příměstských linkách.

Přední náprava je tuhá, vyráběná společností Škoda Transportation a.s. Přední i zadní čelo vychází z modelu B932, avšak došlo k úpravě zadní „vypouklé“ části, čímž došlo k zvětšení prostoru interiéru. Pohodlí cestujících zajišťují čalouněné plastové sedačky, počet míst k sezení činí 31 a počet míst k stání 68. Vozidlo je na pravém boku vybaveno třemi dvoukřídlymi elektropneumaticky ovládanými dveřmi, přičemž dveře v přední části jsou užší než ostatní.

V roce 2003 došlo k mírné modifikaci tohoto modelu městského autobusu a byl označen jako B952 E. Inovace byla provedena změnou přední masky a lepenými okny namísto původních skel uchycených gumou, u kterých docházelo k častému zatékání do vozidla. Základní technické parametry vozidla jsou uvedeny v tabulce 2.1 [6].

Tab. 2.1: Základní technické parametry vozidla Karosa B952 (B952 E)

Délka	11 320 mm
Šířka	2 500 mm
Výška	3 165 mm
Rozvor	5 600 mm
Pohotovostní hmotnost	9 820 kg (B952)
	10 200 kg (B952 E)
Celková hmotnost	17 800 kg
Počet míst (sezení/stání)	31 + 1 / 68
Motor (výkon)	Iveco Cursor F2BE 1682D (180 kW při 2050 ot/min)
Točivý moment	1 100 Nm při 1080 - 1500 ot/min
Převodovka	Praga 5P 120S (B952)
	ZF 6S 1600 (B952 E)
Maximální rychlost	88 km/h

2.3.2 Solaris Urbino 12

Solaris Urbino 12 je model nízkopodlažního dvanáctimetrového autobusu, který je od roku 1999 vyráběn polským výrobcem Solaris Bus & Coach S.A. Do provozu na městské linky v Ostravě byla tato vozidla zařazena již v roce 2001 a v současnosti se jedná o druhý nejpoužívanější typ autobusů v tomto městě (zastoupen 57 vozidly).

Jedná se o městský dvounápravový autobus s hnacím agregátem umístěným za zadní nápravou. Jako standardní pohonná jednotka je dodáván čtyřdobý vznětový motor DAF PR138 o výkonu 188 kW (256 koní) doplněný o šestistupňovou automatickou převodovku Voith Diwa 5. Další pohonná ústrojí včetně nabízených převodovek jsou uvedena v přehledu základních technických parametrů, viz tabulka 2.4. Elektroinstalace je založena na systému CAN – Bus, který významně snižuje počet použitých elektrických obvodů, čímž je zabezpečena vyšší spolehlivost a bezporuchovost.

Karoserie je tvořena ze samonosné svařované konstrukce z nerezových ocelí, oplechování bočních stěn je pak vyrobeno z ocelí aluminiových a nerezových. Při konstrukci jsou využívány velkoprostorové profily, vyznačující se zvýšením tuhosti karoserie a vyšší odolností vůči vibracím. Skla jsou ke karoserii lepena. Provozní hmotnost se pohybuje v rozmezí mezi 10 400 kg a 13 000 kg v závislosti na vybavení. Pro snižování rychlosti vozidla je použit dvouokruhový elektronický brzdový systém (EBS), společně se systémy ABS a ASR.

Na pravé bočnici jsou umístěny troje dvoukřídlé dveře, které jsou otevírány směrem dovnitř. Vnitřní prostor je bezbariérový a vozidla jsou dále vybavena manuální výklopnou plošinou, která usnadňuje vjezd invalidních vozíků. Pro pohodlnější nástup a výstup cestujících je využívána automatická úprava vzduchového vypružení, kdy při zastavení vozidla v prostoru zastávky a následném otevření dveří dojde ke snížení výšky vozidla na nástupní (pravé) straně. Tuto výšku lze regulovat v rozmezí 130 milimetrů. Obsaditelnost vozidla činí 34 míst k sezení a 65 míst ke stání. Použitá sedadla jsou plastová skořepinová a jsou potažena látkou [7][8].

Tab. 2.2: Základní technické parametry vozidla Solaris Urbino 12

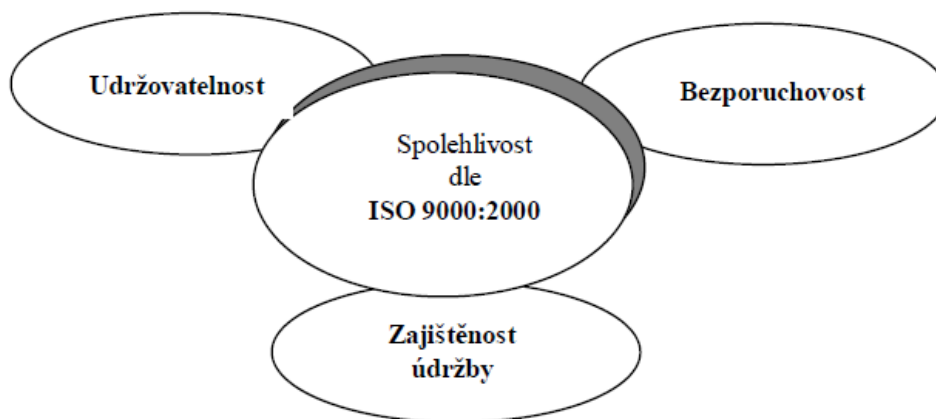
Délka	12 000 mm
Šířka	2 550 mm
Výška	3 050 mm
Rozvor	5 900 mm
Pohotovostní hmotnost	10 400 - 13 000 kg
Celková hmotnost	18 000 kg
Počet míst (sezení/stání)	34 / 65
Motor (výkon)	DAF PR183 (188 kW)
	DAF PR 228 (231 kW)
	DAF PR 265 (266 kW)
	Cummins ISB6.7 250B (180,5 kW)
	Cummins ISB6.7 285B (209 kW)
	MAN D0836 LOH 70 (213 kW)
Převodovka	Voith Diwa 5
	ZF 6HP ECOMAT 4
	Allison Torqmatic
Maximální rychlost	80 km/h

3 Výpočetní metody používané pro hodnocení spolehlivosti

Tato kapitola pojednává o základních pojmech z oblasti spolehlivosti, rozděleních pravděpodobnosti, které byly v práci využity, a o výpočetních metodách používaných pro hodnocení spolehlivosti.

3.1 Základní pojmy spolehlivosti

Spolehlivost je dle normy ISO 9000:2000 definována jako souhrnný termín, používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují, viz následující obrázek č. 3.1.



Obr. č. 3.1: Širší pojetí spolehlivosti [4]

- **bezporuchovost** je schopnost objektu plnit nepřetržitě požadované funkce po stanovenou dobu a za stanovených podmínek,
- **udržovatelnost** je schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo se vrátit do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci tehdy, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy i prostředky (zahrnuje i dřívější pojem opravitelnost),
- **zajištění údržby** je schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat podle požadavků v daných podmínkách prostředky potřebné pro údržbu v souladu s koncepcí údržby.

Spolehlivost je také chápána jako komplexní vlastnost objektu, např. vozidla. Jednotlivé spolehlivostní vlastnosti, které jsou uvedeny na obrázku č. 3.1, lze rozšířit o další definice:

- **bezpečnost** je vlastnost objektu neohrožovat lidské zdraví nebo životní prostředí při plnění předepsané funkce,
- **životnost** je schopnost objektu plnit požadované funkce do okamžiku dosažení mezního stavu při stanoveném systému údržby a oprav,
- **pohotovost** je schopnost objektu být ve stavu schopném plnit požadované funkce v daném časovém okamžiku a v daných podmínkách,
- **filozofie údržby** je systém principů pro organizaci a provádění údržby [4].

Spolehlivost je dle mezinárodního elektrotechnického slovníku, tzn. dle normy ČSN IEC 50(191), vyjádřena jako pravděpodobnost bezporuchového provozu, to jest pravděpodobnost, že objekt může plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu. V této normě jsou definovány další pojmy vztahující se k bezporuchovosti a údržbě:

- **porucha** znamená částečnou nebo úplnou ztrátu schopnosti provozu soustavy nebo prvku. Pokud dojde ke změně schopnosti provozu, rozhoduje se, zda jde o poruchu nebo ne, podle stanovených podmínek provozu,
- **dobu do první poruchy** je celková doba provozu objektu od okamžiku prvního uvedení do použitelného stavu až do poruchy,
- **dobu mezi poruchami** je doba trvání mezi dvěma po sobě následujícími poruchami opravovaného objektu,
- **dobu údržby** je časový interval, během něhož se na objektu provádí údržbářský zásah buď ručně, nebo automaticky, včetně technických a logistických zpoždění,
- **údržba** je souhrn konkrétních technologických činností a postupů, jejichž uplatňováním za určených podmínek se provádí obnova požadovaného technického stavu objektu,
- **preventivní údržba** je údržba prováděná v předem určených intervalech nebo podle předepsaných kritérií a je zaměřená na snížení pravděpodobnosti poruchy nebo degradace fungování objektu,
- **údržba po poruše** je údržba prováděná po zjištění poruchového stavu a je zaměřená na uvedení objektu do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci,

- **oprava** je část údržby po poruše, při níž se na objektu provádějí ruční operace.

3.2 Náhodná veličina

Náhodná veličina [6] je definována jako veličina, která s určitými pravděpodobnostmi nabývá reálných hodnot jednoznačně přiřazených výsledkům příslušných náhodných pokusů.

V oblasti spolehlivosti technických systémů nabývají veličiny jako doba do poruchy, doba mezi poruchami nebo počet poruch během časového intervalu různých hodnot, a to s určitou pravděpodobností. Představují tak náhodnou veličinu, která může následně nabývat libovolných hodnot v určitém intervalu (například čas) nebo pouze určitých hodnot (například nezáporná celá čísla). Poté lze tedy rozlišit:

- **spojitou náhodnou veličinu**: náhodná veličina je nazývána spojitá, pokud porucha může nastat při libovolné hodnotě nezávislé proměnné, například v libovolném čase,
- **diskrétní náhodnou veličinu**: náhodná veličina je nazývána diskrétní, pokud porucha může nastat pouze v určitých okamžicích, kdy je výrobek v provozu.

Zákonitost, která přiřazuje hodnotám náhodné veličiny jejich pravděpodobnosti, je označována jako rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny. Mezi základní charakteristiky, používané k popisu rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny a určení jejich charakteristických hodnot, patří distribuční funkce, hustota pravděpodobnosti, pravděpodobnostní funkce, doplněk k distribuční funkci, intenzita náhodné veličiny, střední hodnota, rozptyl, kvantil atd. Některé z těchto charakteristik jsou blíže popsány v následující podkapitole.

3.2.1 Distribuční funkce

Distribuční funkce náhodné veličiny $F(t)$ [6] je definována jako pravděpodobnost, že náhodná veličina T nabývá hodnoty menší nebo rovné hodnotě t . Je definována následujícím vztahem:

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt \quad (3.1)$$

Kde:

t – hodnota náhodné veličiny T [h],

$f(t)$ – hustota pravděpodobnosti náhodné veličiny [-].

Základní vlastnosti distribuční funkce [4]:

- je nezáporná a nabývá hodnoty z intervalu $<0; 1>$,
- je neklesající, tudíž $F(t_2) \geq F(t_1)$ pro všechna $t_2 \geq t_1$,
- mezi distribuční funkcí a hustotou pravděpodobnosti platí vztah:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (3.2)$$

Pro diskrétní náhodnou veličinu je poté distribuční funkce daná vztahem:

$$F(X \leq a) = p(x_1) + p(x_2) + \dots + p(a) = \sum_{i=1}^{i=a} p(x_i) \quad (3.3)$$

3.2.2 Hustota pravděpodobnosti

Hustota pravděpodobnosti náhodné veličiny $f(t)$ [4] vyjadřuje pravděpodobnost, že náhodná veličina T nabude hodnoty z nekonečně malého intervalu dt . Lze ji vyjádřit vztahem:

$$f(t)dt = P(t \leq T \leq t + dt) \quad (3.4)$$

Hustota pravděpodobnosti má následující vlastnosti:

- je nezáporná, $f(t) \geq 0$,
- velikost plochy pod křivkou je rovna jedné, $\int_{-\infty}^{\infty} f(t)dt = 1$.

Pravděpodobnost, že náhodná veličina T nabude hodnoty z intervalu $<t_1; t_2>$ je dána:

$$P(t_1 \leq T \leq t_2) = \int_{t_1}^{t_2} f(t)dt \quad (3.6)$$

Pro spojité náhodné veličiny je hustota pravděpodobnosti označována $f(t)$, pro diskrétní je poté označována jako pravděpodobnostní funkce $p(x)$.

3.2.3 Doplněk k distribuční funkci

Důležitou charakteristikou v oblasti spolehlivosti je tzv. doplňková funkce neboli doplněk distribuční funkce $F(t)$ do jedné. Je interpretován jako pravděpodobnost bezporuchového stavu v daném okamžiku t . Označuje se $R(t)$ a je dán vztahem [4]:

$$R(t) = P(T \geq t) = 1 - F(t) \quad (3.7)$$

3.2.4 Intenzita náhodné veličiny

Namísto obecného označení intenzity náhodné veličiny se v oblasti spolehlivosti spíše používá intenzita poruch. Je definována jako [4] podmíněná pravděpodobnost, že jev (například porucha) nastane za nekonečně malý okamžik dt za podmínky, že do okamžiku t jev nenastal. Intenzitu poruch lze definovat následujícím vztahem:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.8)$$

Intenzita poruch má nejčastěji rozměr 1/čas, obvykle je udávána v jednotkách 1/h. Je-li však výkonovým parametrem kilometrický proběh vozidla, má intenzita poruch rozměr 1/km a udává se v jednotkách 1/1000 km. Empirické vyjádření intenzity poruch (popřípadě střední intenzity poruch) je definováno jako počet poruch za jednotku času, tudíž:

$$\lambda_e(t) = \frac{N_p}{t} \quad (3.9)$$

Kde:

N_p – počet poruch [-],

t – délka časového intervalu [h].

3.2.5 Střední hodnota

Střední hodnota [5] je základní charakteristika polohy náhodné veličiny, kolem které se hodnoty náhodné veličiny při opakování pokusů náhodně umísťují. Pro diskrétní náhodnou veličinu se určí dle vztahu:

$$E(X) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p(x_i) \quad (3.10)$$

Kde:

x_i – hodnoty náhodné veličiny pro $i = 1, 2, \dots, n$,

$p(x_i)$ – hodnoty pravděpodobnostní funkce náhodné veličiny [-].

Jedná-li se o spojitou náhodnou veličinu, pak je střední hodnota dána vztahem:

$$E(T) = \int_{-\infty}^{\infty} t \cdot f(t) dt \quad (3.11)$$

Kde:

t – hodnota náhodné veličiny T [h],

$f(t)$ – hustota pravděpodobnosti náhodné veličiny [-].

3.3 Použitá rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny

3.3.1 Exponenciální rozdělení

Exponenciální rozdělení [5] se využívá pro popis doby do vzniku náhodného jevu (například poruchy) v Poissonově procesu, charakteristickém konstantní intenzitou výskytu náhodného jevu. Ve spolehlivosti je toto rozdělení vhodné pro systémy, u nichž dochází k poruchám náhodně a náhle, bez opotřebení [1]. Průběh intenzity poruch u exponenciálního rozdělení je konstantní, tudíž se také velmi často používá pro vyjádření „normálního“ života výrobku (období, které je charakteristické ustálením intenzity poruch na přibližně konstantní hodnotu).

Exponenciální rozdělení je spojitým rozdělením pravděpodobnosti určeným jedním parametrem λ (intenzita poruch) a označováno $Ex(\lambda)$. Hustota pravděpodobnosti $f(t)$ má průběh klesající exponenciální funkce a lze ji vyjádřit vztahem:

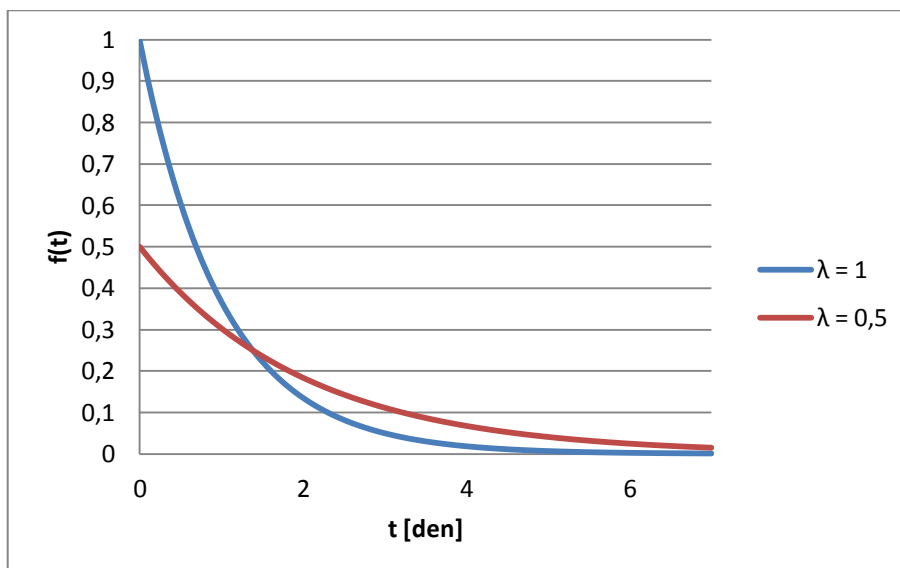
$$f(t) = \lambda \cdot e^{(-\lambda \cdot t)} \quad \lambda > 0, t \geq 0 \quad (3.12)$$

Kde:

λ – intenzita poruch [1/h]

t – hodnota náhodné veličiny T [h]

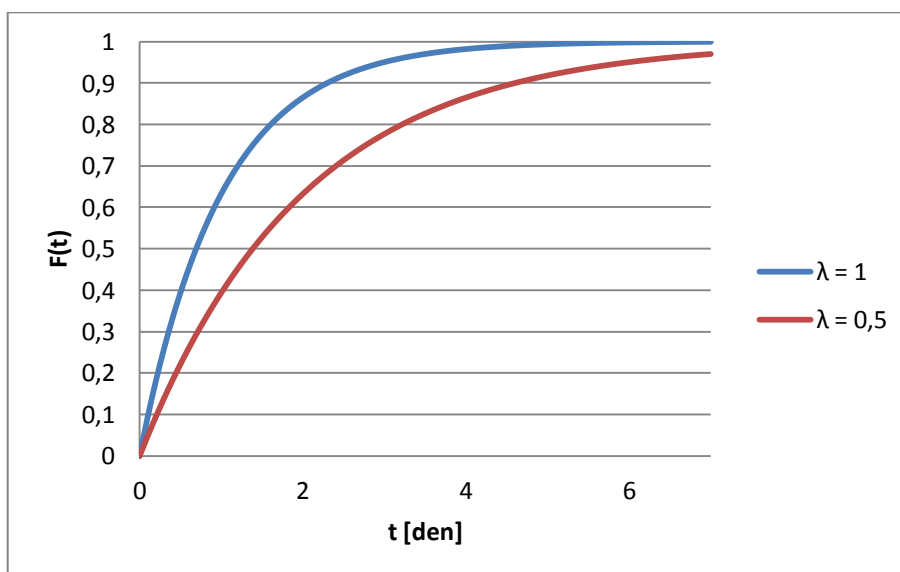
Na následujícím grafu je znázorněn průběh hustoty pravděpodobnosti exponenciálního rozdělení pro dva odlišné parametry, a to $\lambda = 1$ a $\lambda = 0,5$.



Obr. č. 3.2: Graf hustoty pravděpodobnosti exponenciálního rozdělení [autor]

Distribuční funkce je dána vztahem (3.13) a opět je vyobrazen grafický průběh pro dva rozdílné parametry λ (shodné jako v předešlém případě).

$$F(t) = 1 - e^{(-\lambda \cdot t)} \quad \lambda > 0, t \geq 0 \quad (3.13)$$



Obr. č. 3.3: Graf distribuční funkce exponenciálního rozdělení [autor]

Pravděpodobnost bezporuchového provozu je dána vztahem (3.14) a často je nazývána jako funkce spolehlivosti. Opět má tvar klesající exponenciály, která velice rychle klesá. Střední hodnota exponenciálního rozdělení (označována i jako střední doba do poruchy) je rovna převrácené hodnotě parametru λ a je definována vztahem (3.15) [4]:

$$R(t) = e^{(-\lambda \cdot t)} \quad (3.14)$$

$$E(T) = \frac{1}{\lambda} \quad (3.15)$$

Exponenciální rozdělení je často nazýváno jako rozdělení pravděpodobnosti bez paměti, čili pravděpodobnost, že daný objekt se nachází v bezporuchovém stavu určitou dobu, nezávisí na tom, zda byl objekt v bezporuchovém stavu již v předchozí době. Tudíž lze prohlásit, že není závislá na stáří objektu [5].

3.3.2 Weibullovo rozdělení

Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti [4] se v oblasti spolehlivosti velmi často používá k modelování průběhu náhodné veličiny. Jeho hlavní výhodou je vysoká variabilita, tudíž je často využíváno pro posuzování bezporuchovosti technických objektů. Změnou jeho parametrů lze pak nahrazovat i jiná rozdělení pravděpodobnosti (exponenciální, popřípadě aproximuje normální rozdělení).

Distribuční funkce $F(t)$ tříparametrického Weibullova (W3p) rozdělení je dána následujícím vztahem:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-c}{t_0}\right)^m} \quad t \geq 0, m > 0, t_0 > 0, c \geq 0 \quad (3.16)$$

Kde:

t – hodnota náhodné veličiny T [h],

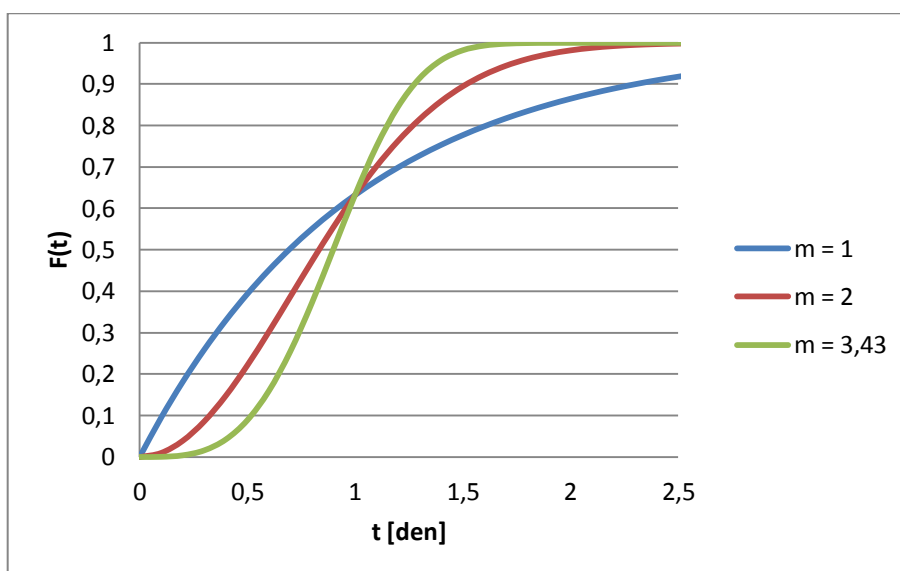
m – parametr tvaru [-],

t_0 – parametr měřítka [h],

c – parametr polohy [h].

Pokud je však parametr polohy roven nule, je Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti označováno jako dvouparametrické (W2p) a předpis pro distribuční funkci je dán vztahem (3.17). Dále je graficky znázorněn její průběh, a to pro rozdílné hodnoty parametru tvaru, avšak pro stejnou hodnotu parametru měřítka ($m = 1, m = 2, m = 3,43, t_0 = 1$).

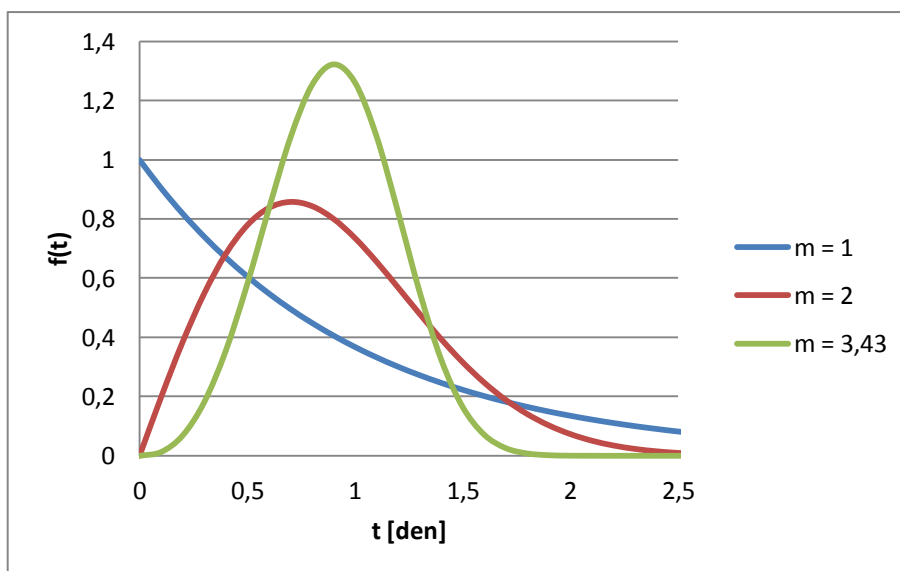
$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad t \geq 0, m > 0, t_0 > 0 \quad (3.17)$$



Obr. č. 3.4: Graf distribuční funkce Weibullova rozdělení [autor]

Pro hustotu pravděpodobnosti Weibullova rozdělení platí vztah (3.18) a opět je vyobrazen její průběh s rozdílnými parametry tvaru.

$$f(t) = \frac{m}{t_0} \cdot \left(\frac{t}{t_0} \right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{t_0} \right)^m} \quad t \geq 0, m > 0, t_0 > 0 \quad (3.18)$$



Obr. č. 3.5: Graf hustoty pravděpodobnosti Weibullova rozdělení [autor]

Pravděpodobnost bezporuchového provozu (stavu) je dána vztahem (3.19) a střední hodnota Weibullova rozdělení vztahem (3.20) [5]:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{t_0} \right)^m} \quad (3.19)$$

$$E(T) = t_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad (3.20)$$

Kde:

Γ – Eulerova gamma funkce [-].

Závěrem této podkapitoly lze ještě zmínit fakt, že změnou parametru tvaru lze také nahradit jiná pravděpodobnostní rozdělení. Je-li parametr tvaru $m = 1$, přechází Weibullovo rozdělení v exponenciální rozdělení, při hodnotě $m = 2$ nahrazuje Rayleighovo rozdělení a při hodnotě $m = 3,43$ aproximuje Gaussovo normální rozdělení pravděpodobnosti [2][5].

3.4 Odhad parametrů s využitím lineární regrese

Odhad parametrů Weibullova (W2p) rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny s využitím lineární regrese [5] metodou nejmenších čtverců vychází z hlavního předpokladu, že daným souborem dat je proložena přímka tak, aby součet druhých mocnin vzdáleností mezi body a přímkou byl minimální.

Věrohodnost získaného modelu nalezeného touto metodou je udávána indexem determinace R^2 . Jeho hodnota leží vždy v intervalu $<0; 1>$. Čím více se blíží hodnota indexu determinace k jedné, tím více daný soubor dat přiléhá k přímce a teoretický model lze prohlásit za dobře vystihující. Protikladem je situace, kdy se hodnota indexu determinace blíží nule, poté lze prohlásit, že teoretický model nevystihuje daná data (není pro ně vhodný) nebo se rozdělení pravděpodobnosti neřídí žádným zákonem a jedná se o chaotická data. V oblasti spolehlivosti se metoda lineární regrese užívá u takových rozdělení pravděpodobnosti, jejichž distribuční funkce se snadno linearizuje.

Cílem této metody je transformace rovnice distribuční funkce dvouparametrického Weibullova rozdělení (3.17) do tvaru rovnice přímky ve směnicovém tvaru:

$$y = k \cdot x + q \quad (3.21)$$

Výše zmíněné odvození je provedeno následovně:

$$\begin{aligned}
F(t) &= 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \\
1 - F(t) &= e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad | \ln \\
\ln[1 - F(t)] &= -\left(\frac{t}{t_0}\right)^m \quad | \ln \\
\ln\{-\ln[1 - F(t)]\} &= m \cdot \ln\left(\frac{t}{t_0}\right) \\
\ln\{-\ln[1 - F(t)]\} &= m \cdot \ln(t) - m \cdot \ln(t_0)
\end{aligned} \tag{3.22}$$

V tomto tvaru pak pro osu x a osu y platí:

$$x = \ln(t) \tag{3.23}$$

$$y = \ln\{-\ln[1 - F(t)]\} \tag{3.24}$$

Z výše uvedeného odvození pak vyplývá, že hodnota parametru tvaru m je rovna směrnici přímky k . Avšak parametr měřítka t_0 je nutno vypočíst následujícím postupem:

$$\begin{aligned}
q &= -m \cdot \ln(t_0) \\
t_0 &= e^{\left(\frac{-q}{m}\right)}
\end{aligned} \tag{3.25}$$

Při postupu pro intervalový odhad parametrů Weibullova rozdělení pravděpodobnosti jsou poté vynášena získaná data seřazená vzestupně (představující například doby do poruchy) v souřadnicích dle vzorců (3.23) a (3.24). Odhad hodnot distribuční funkce $F(t)$ se získává pomocí pořadové statistiky pro jednotlivé hodnoty pravděpodobnosti (pro oboustranný odhad parametrů nejčastěji nabývají hodnot 0,1 a 0,9, tudíž konfidenční úroveň činí $C = 0,8$). Teoretický základ pořadové statistiky je uveden v následující kapitole 3.5.

3.5 Pořadová statistika

Pořadová statistika [5] je nástroj užívaný pro konstrukci intervalových odhadů ukazatelů spolehlivosti. Jedná se o neparametrickou metodu, která je použitelná pro kterýkoliv typ rozdělení pravděpodobnosti náhodné proměnné, a lze ji využít pro odhad hodnot distribuční funkce $F(t)$ Weibullova rozdělení při lineární regresí.

Při provedení zkoušky spolehlivosti je získán náhodný výběr hodnot t_1, t_2, \dots, t_n , představující například doby do poruchy. Pro získané hodnoty pak platí, že $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n$. Poté hodnotu t_1 lze prohlásit za první pořadovou statistiku, t_2 za druhou pořadovou statistiku, až t_n za n -tou pořadovou statistiku, přičemž každá pořadová statistika představuje náhodnou veličinu. Tato náhodná veličina má binomické rozdělení pravděpodobnosti, jehož distribuční funkce se určí dle následujícího vztahu:

$$P(k) = \sum_{k=1}^n \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k} \quad (3.26)$$

Kde:

$P(k)$ – konfidenční úroveň pořadové statistiky [-],

n – celkový počet pořadových statistik [-],

k – pořadové číslo statistiky, $k = 1, 2, \dots, n$, [-],

p – distribuční funkce j -té pořadové statistiky.

Pro danou konfidenční úroveň se pro jednotlivé hodnoty $k = 1, 2, \dots, n$ vypočte numerickým řešením hodnota p , která odpovídá dané hodnotě distribuční funkce $F_k(t)$ dané pořadové statistiky. Jako příklad lze uvést situaci, kdy pro oboustranný intervalový odhad na konfidenční úrovni $C = 0,8$ platí, že odhad hodnoty distribuční funkce $F_k(t)$ pořadových statistik je nutno provést dvakrát, a to pro pravděpodobnosti $P = 0,1$ a $P = 0,9$ (jelikož pak platí, že rozdíl těchto pravděpodobností musí udávat hodnotu konfidenční úrovně C). Následně se numerickým řešením získává neznámá hodnota p pro jednotlivé pořadové statistiky dle následujících vztahů [5]:

$$0,1 = \sum_{k=1}^n \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k} \quad (3.27)$$

$$0,9 = \sum_{k=1}^n \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k} \quad (3.28)$$

Další možnosti při řešení této problematiky je použití analytického řešení. Toto řešení spočívá v transformaci rovnice binomického rozdělení (3.26) na rozdělení beta a poté na Fischerovo-Snedecorovo rozdělení (označováno také jako F rozdělení). Poté lze distribuční funkci k -té pořadové statistiky určit dle následujícího vztahu (3.29) [5]:

$$F_k(t) = \frac{1}{1 + \frac{n-k+1}{k} \cdot F_{P; m; n}} \quad (3.29)$$

Kde:

n – celkový počet pořadových statistik [-],

k – pořadí pořadové statistiky, $k = 1, 2, \dots, n$ [-],

$F_{P;m;n}$ – kvantil F rozdělení pro hodnotu distribuční funkce P , se stupni volnosti m a n [-].

Stupně volnosti F rozdělení jsou poté vypočteny ze vztahů (3.30) a (3.31):

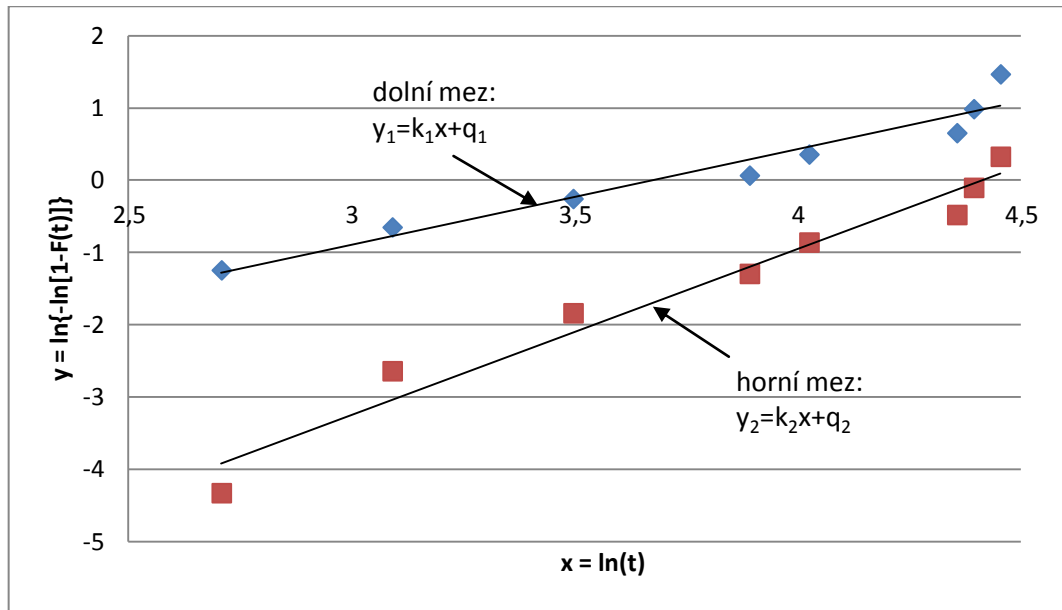
$$m = 2 \cdot (n - k + 1) \quad (3.30)$$

$$n = 2 \cdot k \quad (3.31)$$

3.5.1 Použití pořadové statistiky pro intervalové odhady parametrů Weibullova rozdělení pravděpodobnosti

Při intervalovém odhadu parametrů Weibullova rozdělení pravděpodobnosti je nejprve nutno seřadit jednotlivé doby mezi poruchami vzestupně a určit pro každou zmiňovanou dobu do poruchy její pořadové číslo. Následně je nutno s využitím pořadové statistiky provést odhad hodnot distribuční funkce $F(t)$ pro jednotlivé hodnoty pravděpodobnosti (v případě této práce byla stanovena konfidenční úroveň na hodnotu $C = 0,8$, tudíž pravděpodobnosti nabývají hodnot 0,1 a 0,9).

Dále je nutno pro každou dobu mezi poruchami vypočíst pomocí vztahu (3.23) souřadnici bodu na ose x , které pak přísluší dvě souřadnice na ose y určené dle vztahu (3.24). Nutnost získání dvou souřadnic na ose y je dána faktem, že se jedná o intervalový odhad. Následně jsou zmiňované souřadnice bodů vyneseny do grafické závislosti. Body, představující dolní a horní meze intervalu, jsou s využitím lineární regrese proloženy dvěma přímkami, přičemž je pro každou přímku určena její rovnice ve směrnicovém tvaru, viz obr. č. 3.6.



Obr. č. 3.6: Intervalový odhad parametrů Weibullova rozdělení [autor]

Z obou přímek vyjádřených ve směrnicovém tvaru lze pak jednoduše určit intervalový odhad parametrů Weibullova rozdělení pravděpodobnosti. Parametr tvaru m je roven směrnici přímky k představující dolní nebo horní mez a parametr měřítka lze vypočítat z dříve uvedeného vztahu (3.25). Výsledné hodnoty jednotlivých intervalových odhadů parametrů pak lze zapsat takto:

$$m = \langle m_1; m_2 \rangle = \langle k_1; k_2 \rangle$$

$$t_0 = \langle t_{0_1}; t_{0_2} \rangle = \left\langle e^{\left(\frac{-q_1}{m_1}\right)}; e^{\left(\frac{-q_2}{m_2}\right)} \right\rangle$$

3.6 Součinitel pohotovosti

Provoz jakékoliv soustavy nebo prvku s konečnou dobou obnovy je charakterizován součinitelem pohotovosti $A(t)$. Tento součinitel lze definovat jako pravděpodobnost, že v časovém okamžiku t je daná soustava či prvek v bezporuchovém stavu. Součinitel pohotovosti lze také vyjádřit, jako poměr celkové doby bezporuchového provozu do času t k celkové době provozu do stejného času t . Platí tedy následující vztah [4]:

$$A(t) = \frac{T_p(t)}{T_p(t) + T_o(t)} \quad (3.32)$$

S rostoucím časem však konverguje $A(t)$ k limitní hodnotě, pro kterou pak platí:

$$A = \frac{T_{sp}}{T_{sp} + T_{so}} \quad (3.33)$$

Kde:

A – ustálený součinitel pohotovosti [-],

T_{sp} – střední doba bezporuchového provozu [h],

T_{so} – střední doba obnovy [h].

4 Stanovení charakteristik spolehlivosti a nákladů na údržbu s využitím experimentálních dat

V této kapitole jsou stanoveny základní charakteristiky spolehlivosti a náklady na údržbu pomocí získaných experimentálních dat z provozu vybraných vozidel odlišného stáří (pět, sedm a devět let) obou výše uvedených typů za období let 2009 a 2010.

4.1 Základní struktura a popis experimentálních dat

Experimentální data byla získána z počítačového systému Korund, který je v současnosti používán jako systém řízení údržby Dopravního podniku Ostrava a.s. Pro každé zkoumané vozidlo byla pak zjištěná data převedena do formy tabulek, ve kterých byly uvedeny všechny údržbové zásahy, které byly na daném vozidle za dané období prováděny, společně s poruchami, které se za dané období na vozidle vyskytly. Dále byla tato data doplněna o další údaje, jako je datum prováděné opravy či poruchy, použité náhradní díly včetně jejich množství a ceny a také skutečná doba, která byla na daném údržbovém zásahu strávena. Náhodný výběr těchto experimentálních dat je vyobrazen v tabulce 4.1

Tab. 4.1: Experimentální data systému Korund – náhodný výběr

TypPP	Datum	Evidenční číslo	Název	Množství	Hod	Částka
16	20. 1. 2010	8952013031	REMEN PLOCHY DRAZKOVY MOTORU	1	1,23	822,83
16	9. 2. 2010	5316972061	MOTOREK TOPENI 3200 OTACEK	1	1	361,22
16	17. 2. 2010	4580111335	SROUB KOLA M22X1,5	5	2	1837,15
16	3. 3. 2010	8600000191	POUZDRO SVISLEHO CEPU HORNÍ	2	12	1018,68
16	3. 3. 2010	8600000193	LOZISKO 353056 B SKF KAROSA 952	2	12	1492,48
16	24. 3. 2010	5910237501	ZAROVKA H4 24V 75/70W P43t	1	0,1	49,34
16	2. 4. 2010	8952002479	RELE RYCHLOSTNI KAROSA 952	1	1	1265,26
16	17. 4. 2010	5316794001	VALEC DVERNI K900 DLOUHA HRIDEL	1	0,14	2781

Získaná data byla následně filtrována a pomocí kontingenčních tabulek programu Microsoft Excel byla vybrána pouze data potřebná pro vypracování této diplomové práce. Filtrování dat bylo realizováno pomocí položky TypPP (viz tabulka 4.1) označující typ prohlídky, která byla na vozidle prováděna (například zda se jednalo o pravidelnou prohlídku, údržbu po poruše, přípravu na STK atd.). Při filtrování pak byly po konzultaci se zaměstnancem Dopravního podniku Ostrava a.s. vybrány údržbové zásahy uvedené v následující tabulce 4.2.

Tab. 4.2: Vybrané údržbové zásahy

Typ PP	Název činnosti
1 - 12	Pravidelná prohlídka
13 - 14	Sezónní provoz (letní, zimní)
16	Údržba po poruše
42	Výměna oleje
65	Diagnostika
E2	Technická prohlídka (STK)

4.2 Karosa B952 (B952 E)

Jak již bylo zmíněno, jedním ze zkoumaných typů autobusů jsou vozidla Karosa B952 (B952 E), kdy bylo vybráno celkem patnáct vozidel odlišného stáří, a to pět vozidel stáří pěti let, pět vozidel stáří sedmi let a pět vozidel stáří devíti let. Pro ně jsou v dalších podkapitolách zjišťovány základní spolehlivostní charakteristiky.

4.2.1 Intenzity poruch

Sledování intenzit poruch bylo prováděno na jednotlivých vozidlových částech a ústrojích rozčleněných dle ČSN 30 0025. Následně pak pro každou vozidlovou součást byl zjištěn celkový počet poruch, který se za dané období let 2009 a 2010 vyskytl, poté byl tento počet poruch přepočten na jedno vozidlo a byla vypočtena empirická intenzita poruch každé vozidlové součásti dle vztahu (3.9), tudíž například pro vozidlový motor vozidel stáří pěti let platí:

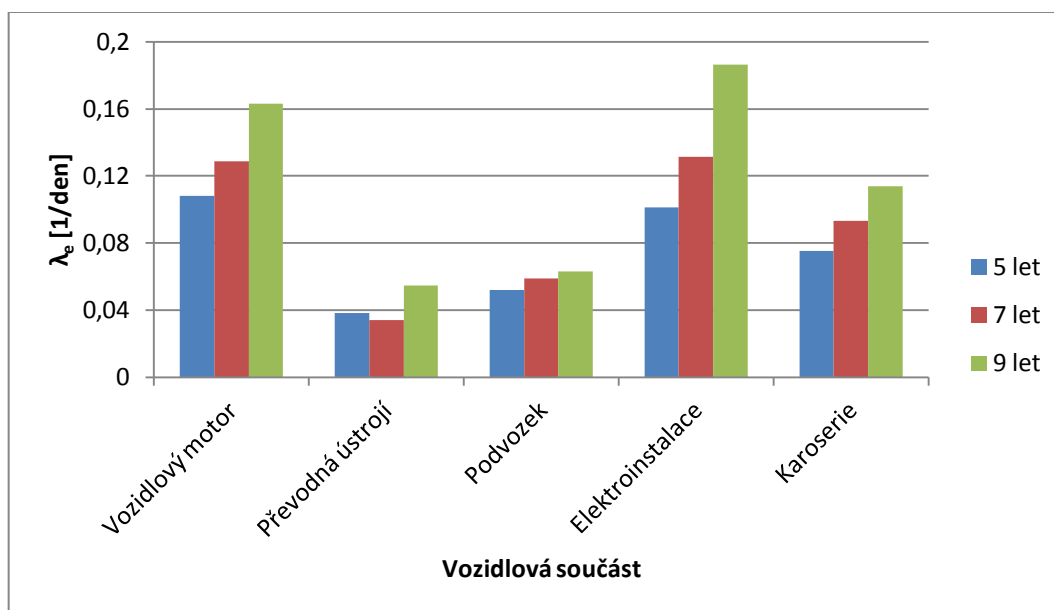
$$\lambda_{e_{VM5}}(t) = \frac{79}{730}$$

$$\lambda_{e_{VM5}}(t) = 0,108219 \text{ den}^{-1}$$

Tímto způsobem pak byly vypočteny všechny hodnoty empirických intenzit poruch pro jednotlivé vozidlové součásti vozidel stejného stáří, které jsou uvedeny v příloze C.

Z hlediska celkového počtu poruch je patrný fakt, že s rostoucím stářím roste rovněž počet poruch. Toto v zásadě platí pro všechny vozidlové součásti, jedinou výjimku tvoří převodná ústrojí vozidel Karosa B952 stáří pěti a sedmi let, kdy počet poruch s rostoucím stářím mírně poklesl, avšak u vozidel stáří devíti let již pak tato hodnota opět vzrůstá.

Dále je také patrné, že nejvyšší počty poruch, tudíž i nejvyšší hodnoty příslušných empirických intenzit, se vyskytují u vozidlových motorů (stáří 5 let) a elektroinstalace (stáří 7 a 9 let). U těchto vozidlových součástí lze rovněž spatřit nejvyšší nárůst těchto hodnot vzhledem k rostoucímu stáří vozidel. Naopak nejnižší hodnoty počtu poruch se vyskytují u převodných ústrojí, tudíž lze říci, že bezporuchovost tohoto ústrojí je nejvyšší ve srovnání s ostatními vozidlovými součástmi. Pro přehlednost a vzájemné srovnání empirických intenzit poruch byl sestaven následující graf, viz obr. č. 4.1.



Obr. č. 4.1: Srovnání empirických intenzit poruch vozidel Karosa B952 [autor]

4.2.2 Výpočet intervalových odhadů střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel stejného stáří

Pro výpočet intervalových odhadů střední doby mezi poruchami (MTBF) je nutno nejprve určit parametry Weibullova dvouparametrického rozdělení pravděpodobnosti,

ze kterých lze poté numericky vypočíst dolní a horní mezní hodnotu střední doby mezi poruchami, tudíž intervalový odhad střední doby mezi poruchami. Výpočet je proveden pro každou skupinu pěti vozidel Karosa B952 stejného stáří a vozidlo již není rozčleněno na jednotlivé vozidlové součásti, avšak je řešeno jako celek. Vzorový výpočet je proveden na vozidlech stáří pěti let a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách 4.3 a 4.4.

Tab. 4.3: Pořadová statistika pro vozidla Karosa B952 stáří pěti let

Pořadové číslo poruchy	Doba mezi poruchami [den]	$B_i = 0,1$	$B_i = 0,9$	p_1	p_2
1	1	0,099843	0,899672	0,008374	0,000386
2	2	0,100244	0,899752	0,014110	0,001945
3	2	0,100215	0,900069	0,019296	0,004027
4	2	0,099417	0,900135	0,024253	0,006379
5	2	0,100402	0,900028	0,028937	0,008903
6	2	0,100677	0,899854	0,033541	0,011547
7	2	0,099512	0,899693	0,038155	0,014281
8	3	0,099730	0,900826	0,042606	0,017033
9	3	0,100077	0,900018	0,046988	0,019920
10	3	0,099909	0,900758	0,051361	0,022786
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
273	273	0,099578	0,899966	0,998062	0,985880
274	451	0,100628	0,900019	0,999613	0,991631

V tabulce 4.3 je v levém sloupci uvedeno pořadové číslo poruchy, která se na vozidle vyskytla za sledované období, a následně je uvedena hodnota příslušné doby mezi poruchami, které jsou seřazeny vzestupně dle jejich velikosti. V následujících sloupcích je pak pomocí vztahů (3.27) a (3.28) určen odhad distribuční funkce $F(t)$. V případě této práce byl pro výpočet použit program Microsoft Excel, přesněji jeho funkce pro výpočet distribuční funkce binomického rozdělení BINOMDIST a nástroj Hledání řešení, pomocí kterých byla dopočtena hodnota neznámé pravděpodobnosti p_1 a p_2 pro jednotlivé pořadové statistiky tak, aby výsledná hodnota binomického rozdělení pravděpodobnosti činila 0,1 (pro p_1) nebo 0,9 (pro p_2), jelikož konfidenční úroveň byla stanovena na hodnotu $C = 0,8$. Avšak z důvodu výpočtu těchto hodnot v již zmiňovaném programu je nutno každé pořadové číslo poruchy snížit o hodnotu jedna.

Dále je nutno aplikovat využití lineární regrese pro určení parametrů Weibullova rozdělení pravděpodobnosti. Tudíž je potřeba určit souřadnice bodů na ose x a y

pro každou dobu mezi poruchami. Jelikož se jedná o intervalový odhad, je nutno pro každou hodnotu na ose x určit dvě hodnoty na ose y (y_1 a y_2). Ty jsou vypočteny pomocí vztahů (3.23) a (3.24). Získané hodnoty jsou pak pro názornost uvedeny v tabulce 4.4. Vzorový výpočet je proveden pro první dobu do poruchy:

- pro osu x platí:

$$x = \ln(1)$$

$$\underline{\underline{x = 0}}$$

- pro osu y platí (za hodnotu distribuční funkce $F(t)$ jsou dosazeny hodnoty pravděpodobností p_1 a p_2):

$$y_1 = \ln\{-\ln[1 - 0,008374]\}$$

$$\underline{\underline{y_1 = -4,778413}}$$

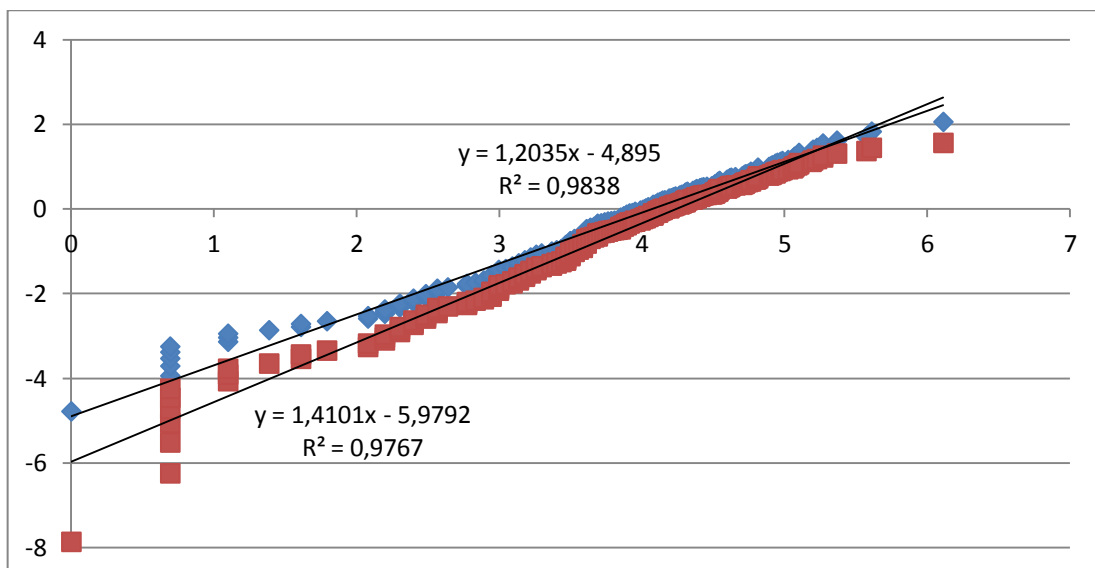
$$y_2 = \ln\{-\ln[1 - 0,000386]\}$$

$$\underline{\underline{y_2 = -7,860037}}$$

Tab. 4.4: Určení souřadnic bodů pro lineární regresi vozidel Karosa B952

Pořadové číslo	Doba mezi poruchami [den]	x	y ₁	y ₂
1	1	0	-4,778413	-7,860037
2	2	0,693147	-4,253748	-6,241273
3	2	0,693147	-3,938137	-5,512592
4	2	0,693147	-3,706981	-5,051504
5	2	0,693147	-3,528005	-4,716915
6	2	0,693147	-3,377987	-4,455510
7	2	0,693147	-3,246712	-4,241646
8	3	1,098612	-3,134079	-4,064025
9	3	1,098612	-3,033903	-3,905998
10	3	1,098612	-2,942628	-3,770098
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
273	273	5,609472	1,831986	1,449309
274	451	6,111467	2,061415	1,565112

Takto získané souřadnice jednotlivých bodů jsou vyneseny do grafické závislosti a jsou jimi proloženy dvě přímky, přičemž jsou získány jejich rovnice ve směrnicovém tvaru a příslušný index determinace udávající věrohodnost proložení bodů danou přímkou, viz obr. č. 4.2.



Obr. č. 4.2: Lineární regrese pro vozidla Karosa B952 stáří pěti let [autor]

Ze získaných směrnice rovnic přímek lze pak snadným způsobem určit hledané parametry Weibullova dvouparametrického rozdělení pravděpodobnosti s využitím vztahu (3.25). Z rovnice přímky vztahující se k dolní mezi lze určit:

- parametr tvaru:

$$\underline{\underline{m_1 = 1,2035}}$$

- parametr měřítka:

$$t_{0_1} = e^{\left(\frac{4,895}{1,2035}\right)}$$

$$\underline{\underline{t_{0_1} = 58,3993 \text{ dne}}}$$

Dále ze směrnice rovnic přímky vztahující se k horní mezi lze získat následující parametry:

- parametr tvaru:

$$\underline{\underline{m_2 = 1,4101}}$$

- parametr měřítka:

$$t_{0_2} = e^{\left(\frac{5,9792}{1,4101}\right)}$$

$$\underline{\underline{t_{0_2} = 69,4264 \text{ dne}}}$$

Z výše uvedených parametrů Weibullova rozdělení pravděpodobnosti lze následně vypočíst střední hodnotu, přičemž je určena střední hodnota vztahující se k dolní i horní mezi. Tudíž je tímto určen požadovaný interval střední doby mezi poruchami, přičemž jeho hranice jsou tvořeny již zmiňovanými středními hodnotami. Střední hodnota Weibullova rozdělení je určena pomocí vztahu (3.20) a pomocí funkce GAMMALN programu Microsoft Excel.

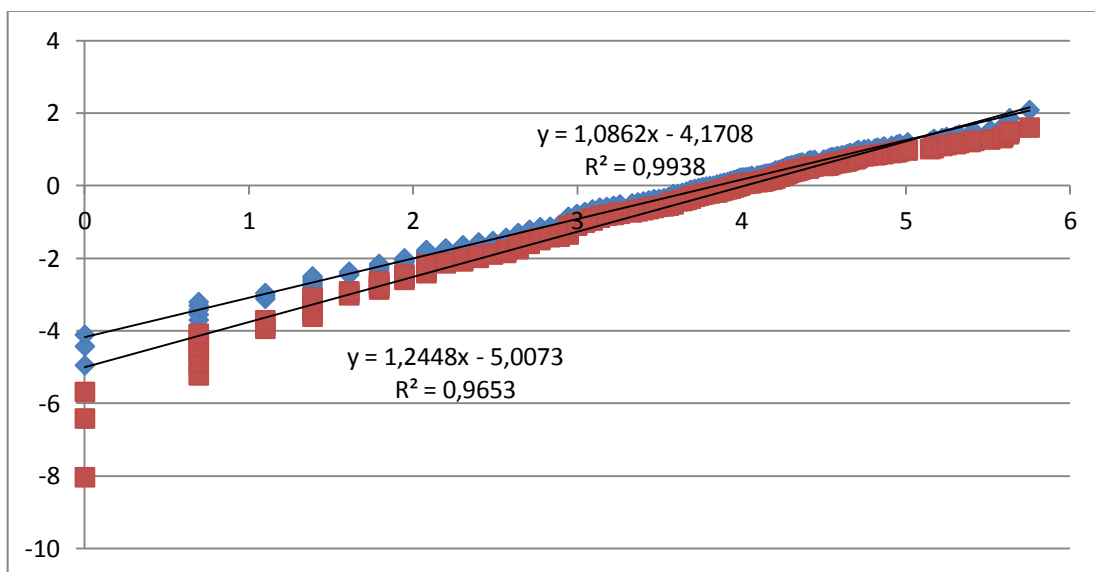
$$T_{S_D} = 58,3993 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,2035}\right)$$

$$\underline{\underline{T_{S_D} = 54,89 \text{ dne}}}$$

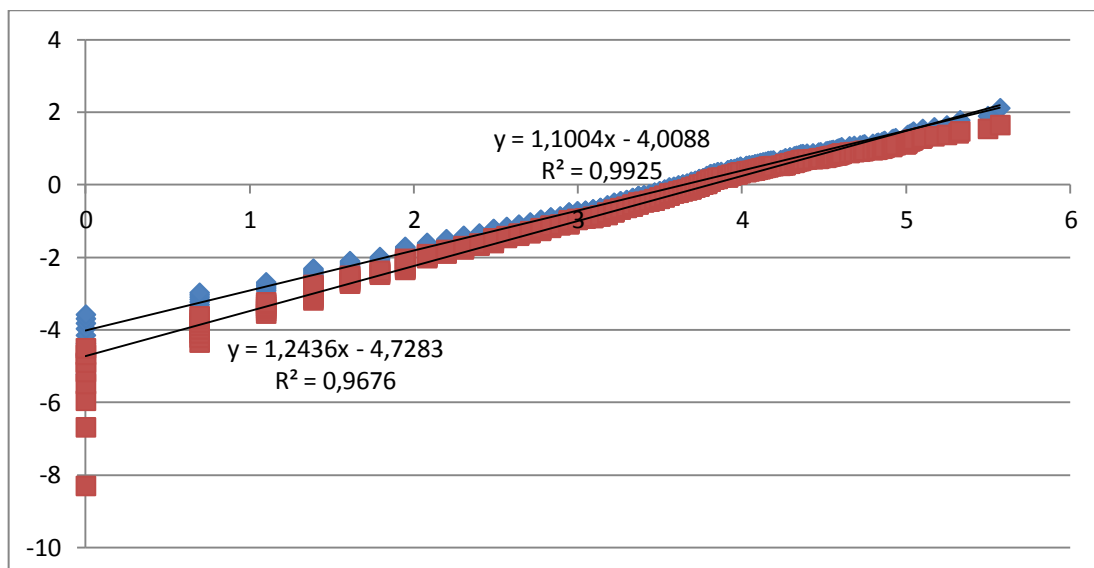
$$T_{S_H} = 69,4264 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,4101}\right)$$

$$\underline{\underline{T_{S_H} = 63,21 \text{ dne}}}$$

Výsledný intervalový odhad střední doby mezi poruchami skupiny vozidel Karosa B952 stáří pěti let je tedy stanoven na rozmezí 54,89 a 63,21 dne. Obdobným způsobem jsou poté určeny intervalové odhady u skupin vozidel stáří sedmi a devíti let. Pro názornost jsou vyobrazeny grafické závislosti (obr. č. 4.3, obr. č. 4.4), ze kterých byly pomocí lineární regrese získány požadované parametry Weibullova rozdělení a následně jsou uvedeny vypočtené hodnoty střední doby mezi poruchami a z nich určeny příslušné intervalové odhady (tab. 4.5).



Obr. č. 4.3: Lineární regrese pro vozidla Karosa B952 stáří sedmi let [autor]



Obr. č. 4.4: Lineární regrese pro vozidla Karosa B952 stáří devíti let [autor]

Tab. 4.5: Přehled vypočtených intervalových odhadů vozidel Karosa B952

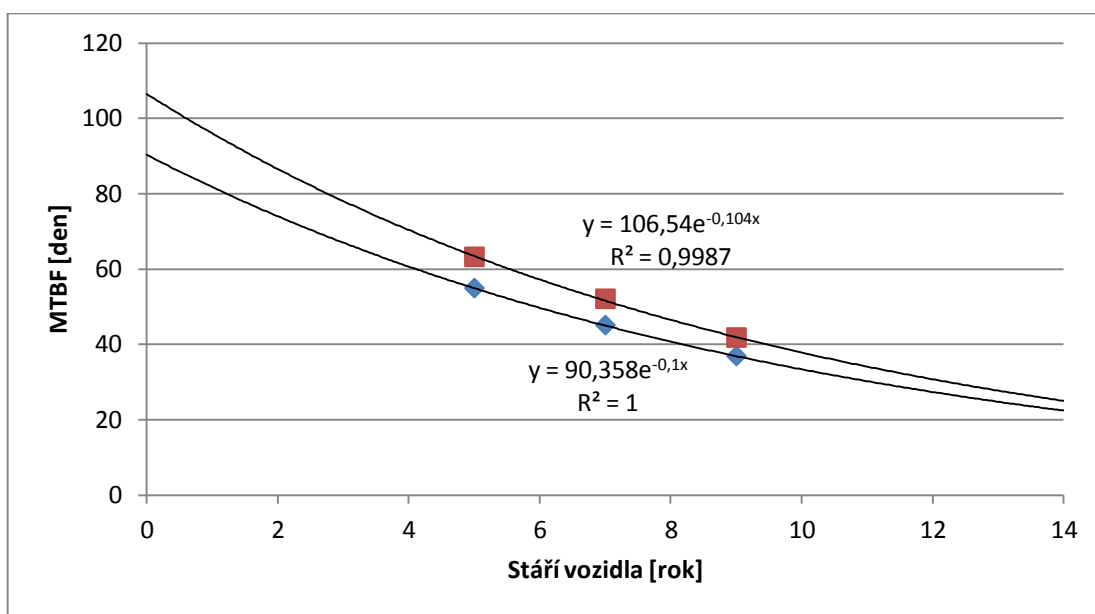
Stáří vozidel - 7 let	Dolní mez	Horní mez
Parametr tvaru m [-]	1,0862	1,2448
Parametr měřítka t_0 [den]	46,5166	55,8447
Střední hodnota T_s [den]	45,0747	52,0626
Výsledný intervalový odhad MTBF [den]	<45,07; 52,06>	
Stáří vozidel - 9 let	Dolní mez	Horní mez
Parametr tvaru m [-]	1,1004	1,2436
Parametr měřítka t_0 [den]	38,2078	44,7955
Střední hodnota T_s [den]	36,8627	41,7710
Výsledný intervalový odhad MTBF [den]	<36,86; 41,77>	

Z vypočtených hodnot lze vyvodit následující závěry. Platí, že s rostoucím stářím vozidel se snižuje střední doba mezi poruchami, což je také dáno nárůstem počtu poruch. Dále lze spatřit zajímavý fakt, že s rostoucím stářím vozidel se velikosti intervalových odhadů střední doby mezi poruchami zpřesňují (čím je daná skupina vozidel starší, tím je velikost intervalu menší). Ve skutečnosti však v technické praxi většinou platí opačný stav, a to že s nárůstem stáří se velikost (rozpět) těchto intervalů zvyšuje. Rovněž lze říci, že pokud nedochází k výrazné změně parametru tvaru m (v tomto případě se parametr tvaru pohybuje okolo jedné), jedná se o stejný druh opotřebení. Také lze říci, že během celé životnosti vozidla se nemění rozdělení pravděpodobnosti.

4.2.3 Model predikce intervalu střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel stejného stáří

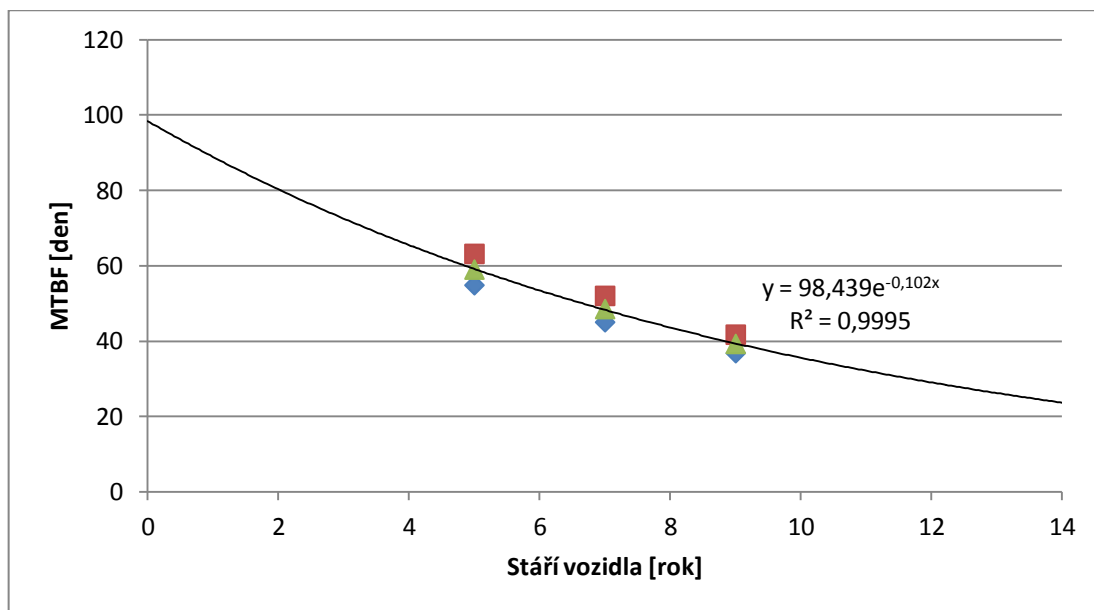
Tato podkapitola pojednává o možnosti predikovat (předpovídat) s určitou mírou přesnosti hodnotu intervalu střední doby mezi poruchami, popřípadě střední hodnotu intervalu MTBF, pro námi zvolené stáří příslušného typu vozidel.

Pro získání tohoto modelu byly nejprve graficky vykresleny body představující horní a dolní meze intervalu střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel Karosa B952 stáří pěti, sedmi a devíti let. Následně pak byly tyto body proloženy křivkami exponenciálního tvaru (zvláště byly proloženy body představující horní meze intervalů a zvláště body představující meze dolní), které se jevily jako nejvhodnější, jelikož index determinace byl v tomto případě nejvyšší. Po proložení exponenciálami pak byly zjištěny rovnice příslušných křivek, viz obr. č. 4.5.



Obr. č. 4.5: Model predikce intervalu střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel Karosa B952 [autor]

Tudíž v případě dosazení určité hodnoty stáří vozidla za neznámou x do rovnic exponenciálních křivek představujících horní a dolní meze, lze vypočíst příslušný předpokládaný interval střední doby mezi poruchami. Další možností při predikování je sestavení modelu pro predikci střední hodnoty intervalu střední doby mezi poruchami, který je získán obdobným postupem jako v předchozím případě, avšak v grafické závislosti jsou proloženy pouze body odpovídající příslušným středním hodnotám, viz obr. č. 4.6.



Obr. č. 4.6: Model predikce střední hodnoty intervalu střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel Karosa B952 [autor]

Například vezmeme-li v úvahu vozidla stáří šesti let, lze vypočítat následující hodnoty:

- **dolní mez:**

$$T_D = 90,358 \cdot e^{-0,1 \cdot 6}$$

$$\underline{\underline{T_D = 49,59 dne}}$$

- **horní mez:**

$$T_H = 106,54 \cdot e^{-0,1046 \cdot 6}$$

$$\underline{\underline{T_H = 57,08 dne}}$$

- **střední hodnota:**

$$T_S = 98,439 \cdot e^{-0,1026 \cdot 6}$$

$$\underline{\underline{T_S = 53,38 dne}}$$

Z výpočtu pak vyplývá, že předpokládaný interval střední doby mezi poruchami pro vozidla stáří šesti let je stanoven v rozmezí 49,59 a 57,08 dne. Střední hodnota tohoto intervalu je pak předpokládána na hodnotě 53,38 dne. Obdobným způsobem pak lze určit interval střední doby mezi poruchami pro libovolné stáří vozidel.

4.2.4 Výpočet intervalových odhadů střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla

V této kapitole je určen intervalový odhad střední doby mezi poruchami pro každé vozidlo z příslušné skupiny stejného stáří samostatně, tudíž pak pro následnou predikci budou k dispozici rozsáhlejší data než v předešlém případě. Výpočet hledaných intervalů vychází ze stejného postupu jako v kapitole 4.2.2. Nejprve jsou s využitím pořadové statistiky a lineární regrese odhadnuty parametry Weibullova dvouparametrického rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny, pomocí kterých jsou pak vypočteny meze hledaného intervalu střední doby mezi poruchami. Tyto hledané intervaly jsou uvedeny v následující tabulce 4.6.

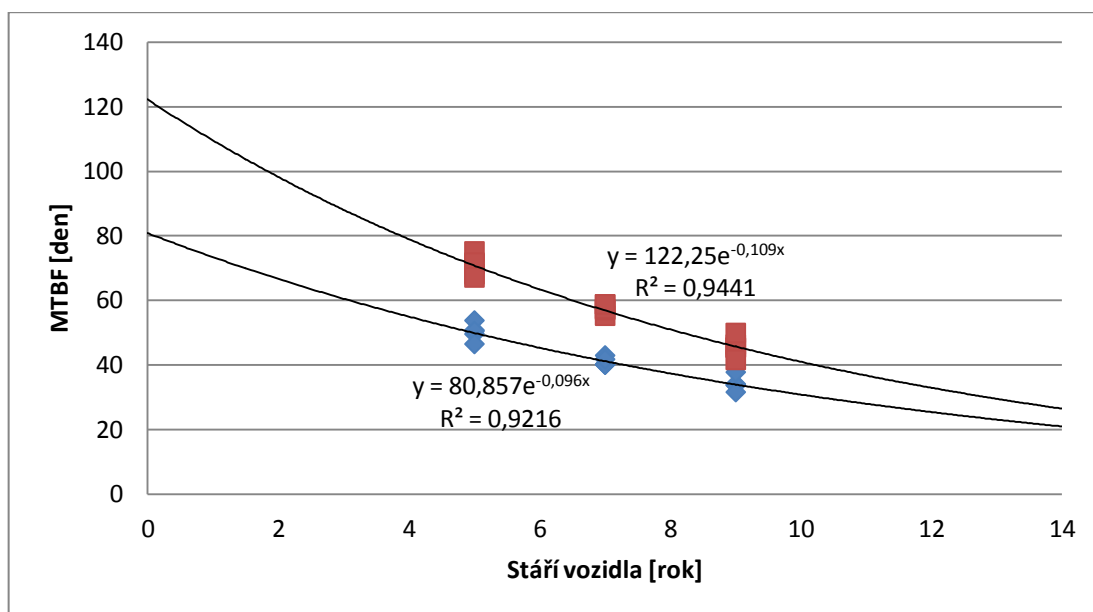
Tab. 4.6: Intervalový odhad střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla Karosa B952

Stáří vozidel - 5 let	Parametr tvaru m [-]		Parametr měřítka t_0 [den]		Střední hodnota T_s [den]		Výsledný interval MTBF [den]
Pořadové číslo	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez	
1	0,9988	1,4016	49,5154	78,158	49,5405	71,2223	<49,54; 71,22>
2	1,2244	1,6623	54,2116	76,1383	50,7383	68,0443	<50,74; 68,04>
3	0,9795	1,3311	53,2386	81,6997	53,7193	75,1105	<53,72; 75,11>
4	1,1341	1,491	52,7711	79,3054	50,4305	71,6455	<50,43; 71,65>
5	1,1061	1,4652	48,229	74,0447	46,4527	67,0429	<46,45; 67,04>
Stáří vozidel - 7 let	Parametr tvaru m [-]		Parametr měřítka t_0 [den]		Střední hodnota T_s [den]		Výsledný interval MTBF [den]
Pořadové číslo	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez	
1	1,1013	1,4407	41,5375	60,8294	40,0645	55,2048	<40,06; 55,2>
2	1,1559	1,4989	45,1513	65,0439	42,907	58,7233	<42,9; 58,72>
3	0,8877	1,1556	37,8938	59,9883	40,1773	57,0108	<40,18; 57,01>
4	0,9101	1,191	38,3369	60,8133	40,0953	57,3167	<40,1; 57,32>
5	1,0243	1,3228	42,1316	63,7937	41,7188	58,7179	<41,72; 58,72>
Stáří vozidel - 9 let	Parametr tvaru m [-]		Parametr měřítka t_0 [den]		Střední hodnota T_s [den]		Výsledný interval MTBF [den]
Pořadové číslo	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez	
1	0,9659	1,232	33,5451	49,5149	34,0631	46,2735	<34,06; 46,27>
2	1,0145	1,2871	33,8498	49,0967	33,6481	45,4373	<33,65; 45,44>
3	1,0403	1,3187	34,3557	49,1286	33,8141	45,2465	<33,81; 45,25>
4	1,0182	1,3279	38,019	54,213	37,7367	49,8632	<37,74; 49,86>
5	1,0467	1,3273	32,1352	45,1534	31,5552	41,534	<31,56; 41,53>

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že s rostoucím stářím vozidel se rozpětí výsledného intervalu střední doby mezi poruchami opět zmenšuje. Dále lze říci, že u vozidel stáří sedmi a devíti let jsou získané intervaly v rámci každé skupiny poměrně dosti podobné, pouze u vozidel, která jsou z hlediska posuzovaného stáří nejmladší, dochází k mírnému rozdílu hodnot jednotlivých vypočtených intervalů. Pro zpřesnění těchto intervalů by bylo potřeba vyhodnocení získaných dat pro delší časový úsek než dva roky.

4.2.5 Model predikce intervalu střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla

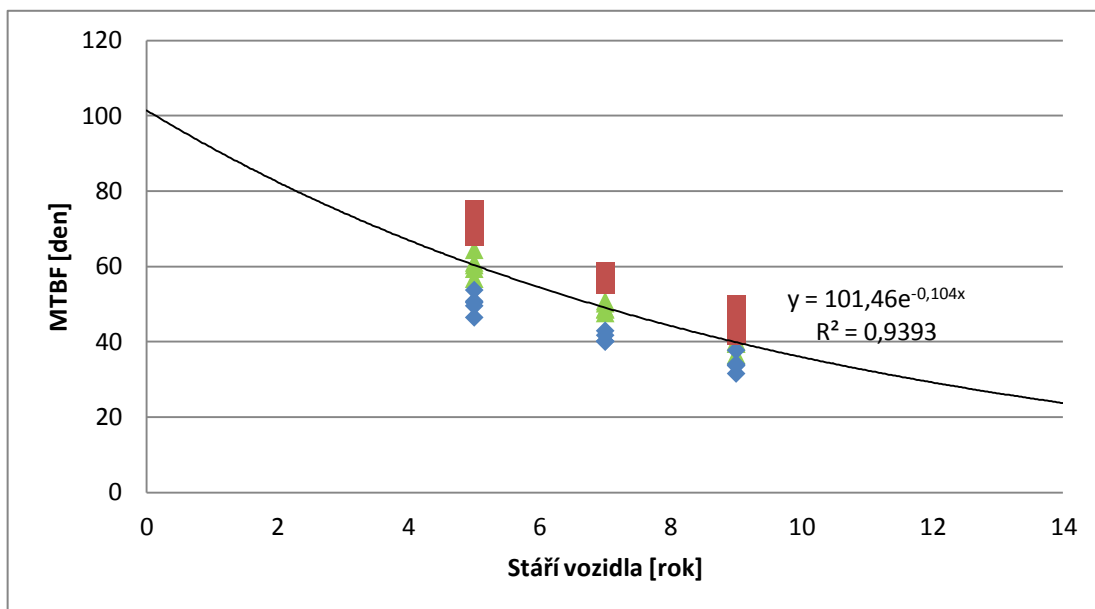
Predikce intervalu střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla odlišného stáří je provedena obdobným způsobem jako v kapitole 4.2.3, avšak v tomto případě jsou k dispozici rozsáhlejší data, z čehož následně vyplývá vyšší věrohodnost získaného modelu. Opět jsou vypočtené hodnoty dolních a horních mezí jednotlivých intervalů proloženy příslušnými křivkami exponenciálního tvaru, u nichž je určena jejich rovnice, viz obr. č. 4.7.



Obr. č. 4.7: Model predikce intervalu střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla Karosa B952 [autor]

Z obr. č. 4.7 lze vyčíst, že hodnoty indexu determinace se oproti případu uvedenému v kapitole 4.2.3 snížily, což je dáno vyšším počtem prokládaných bodů (horních a dolních mezí vypočtených intervalů). Při srovnání s obr. č. 4.5 lze spatřit největší rozdíl při případné predikci vozidel stáří do inkriminovaných pěti let, následně pak predikce nabývá hodnot bližších. U vozidel starších devíti let jsou pak tyto intervaly téměř shodné. Jako

výchozí model pro predikci intervalu střední doby mezi poruchami bych však zvolil model z obr. č. 4.7, jelikož jeho sestavení vychází z většího počtu dat a tudíž ho lze považovat za věrohodnější. Pro predikci střední hodnoty intervalu MTBF lze vyjít z obr. č. 4.8.



Obr. č. 4.8: Model predikce střední hodnoty intervalu střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla Karosa B952 [autor]

Pro následné srovnání s kapitolou 4.2.3 je proveden výpočet pro stáří vozidel šesti let následujícím postupem:

- **dolní mez:**

$$T_D = 80,857 \cdot e^{-0,0966}$$

$$\underline{\underline{T_D = 45,45 \text{ dne}}}$$

- **horní mez:**

$$T_H = 122,25 \cdot e^{-0,1096}$$

$$\underline{\underline{T_H = 63,57 \text{ dne}}}$$

- **střední hodnota:**

$$T_S = 101,46 \cdot e^{-0,1046}$$

$$\underline{\underline{T_S = 54,36 \text{ dne}}}$$

Pro vozidla stáří šesti let je pomocí výše uvedeného modelu predikován přibližný interval střední doby mezi poruchami v rozpětí <45,45; 63,57> dne a příslušná střední hodnota činí 54,36 dne. Při srovnání s původní variantou modelu predikce, má hledaný

interval v tomto případě větší rozpětí, avšak jeho střední hodnota je téměř shodná jako v předešlém případě.

4.2.6 Součinitel pohotovosti

Pohotovost [4] zkoumaného objektu lze definovat jako jeho schopnost nacházet se ve stavu schopném plnit jeho požadované funkce v daném časovém okamžiku a v daných podmínkách. Pro hodnocení pohotovosti vozidel je využit ustálený součinitel pohotovosti, jehož výpočet vychází ze vztahu (3.33) a je spočten pro každou skupinu vozidel stejného stáří. Pro jeho určení bylo zapotřebí určit příslušné střední doby obnovy a střední doby bezporuchového provozu, které jsou uvedeny v tab. 4.7.

Tab. 4.7: Hodnoty ustáleného součinitele pohotovosti vozidel Karosa B952

Stáří vozidel - 5 let	2009		2010		A [-]
Pořadové číslo	T_{so} [den]	T_{sp} [den]	T_{so} [den]	T_{sp} [den]	
1	7	358	13	352	0,9726
2	8	357	11	354	0,9740
3	13	352	23	342	0,9507
4	3	362	17	348	0,9726
5	7	358	38	327	0,9384
Celkem	38	1787	102	1723	0,9616
Stáří vozidel - 7 let	2009		2010		A [-]
Pořadové číslo	T_{so} [den]	T_{sp} [den]	T_{so} [den]	T_{sp} [den]	
1	21	344	10	355	0,9575
2	11	354	15	350	0,9644
3	26	339	17	348	0,9411
4	10	355	26	339	0,9507
5	9	356	21	344	0,9589
Celkem	77	1748	89	1736	0,9545
Stáří vozidel - 9 let	2009		2010		A [-]
Pořadové číslo	T_{so} [den]	T_{sp} [den]	T_{so} [den]	T_{sp} [den]	
1	21	344	20	345	0,9438
2	27	338	16	349	0,9411
3	11	354	14	351	0,9658
4	18	347	15	350	0,9548
5	17	348	16	349	0,9548
Celkem	94	1731	81	1744	0,9521

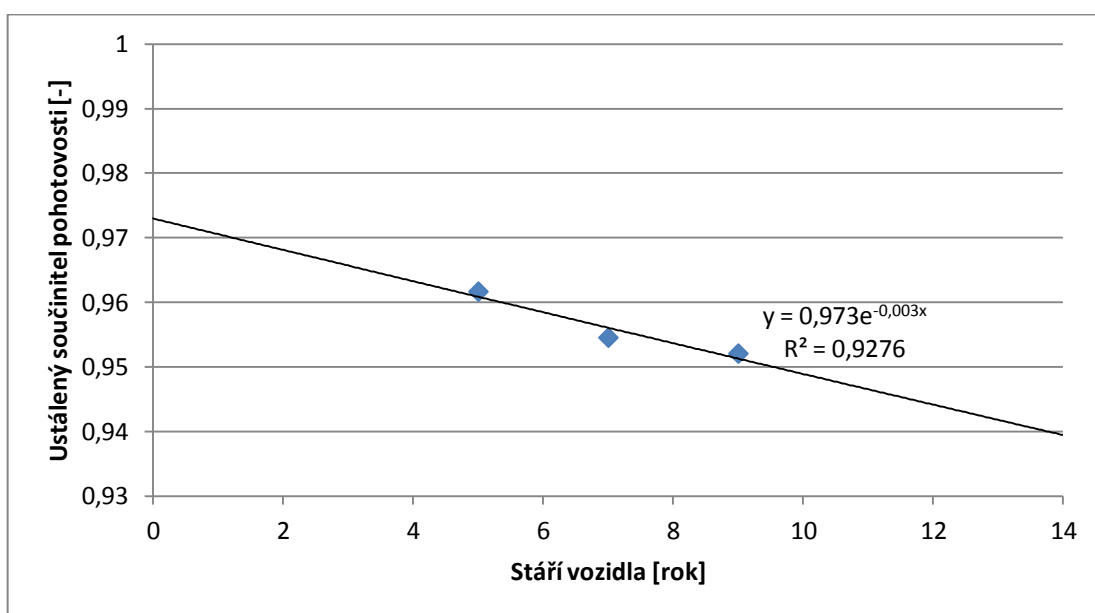
Ukázkový výpočet ustáleného součinitele pohotovosti je proveden pro skupinu vozidel stáří pěti let.

$$A = \frac{1787 + 1723}{38 + 1787 + 102 + 1723}$$

$$\underline{\underline{A = 0,9616}}$$

Obdobným způsobem je pak určen ustálený součinitel pohotovosti jak pro jednotlivá vozidla příslušící do daných skupin dle jejich stáří, tak pro celé skupiny zkoumaných vozidel. Jak je patrné z tab. 4.7, platí fakt, že s rostoucím stářím vozidel se hodnota ustáleného součinitele pohotovosti snižuje. Tento pokles však není příliš razantní. Mezi obdobími stáří vozidel pěti a sedmi let se jedná o rozdíl 0,0061 a v období sedmi a devíti let dochází k ještě méně významnému rozdílu, který činí 0,0024. Lze tedy říci, že se jedná o velice malý pokles pohotovosti z hlediska rostoucího stáří zkoumaných vozidel.

Avšak při srovnání jednotlivých vozidel odlišného stáří je nutno dodat, že například některá vozidla stáří devíti let vykazují vyšší hodnotu ustáleného součinitele pohotovosti, než vozidla „mladší“. Tyto difference lze přičíst rozdílné závažnosti poruch, které se vyskytly na jednotlivých vozidlech. Neboli u některých vozidel „nižšího“ stáří bylo zapotřebí po určité poruše vykonat takové údržbové zásahy, jejichž trváním byl zapříčiněn nárůst střední doby obnovy příslušného vozidla, čímž následně došlo ke snížení ustáleného součinitele pohotovosti. Celková hodnota součinitele pohotovosti pro všechna zkoumaná vozidla Karosa B952 činí 0,9561. Vývoj ustáleného součinitele pohotovosti pro jednotlivé skupiny vozidel stejného stáří a následný model, pomocí něhož lze predikovat jeho hodnotu při daném stáří vozidla, je vyobrazen na obr. č. 4.9.



Obr. č. 4.9: Model predikce ustáleného součinitele pohotovosti vozidel Karosa B952
[autor]

Při dosazení stáří vozidla šest let za neznámou x do rovnice exponenciály proložené danými body lze pak určit přibližnou hodnotu ustáleného součinitele pohotovosti takto:

$$y = 0,973 \cdot e^{-0,0036}$$

$$\underline{\underline{y = 0,9556}}$$

4.2.7 Náklady na údržbu

Vynaložené náklady na údržbu vozidel jsou složeny z nákladů na plánovanou údržbu, která je prováděna dle předem stanoveného kilometrického proběhu, a nákladů na neplánované opravy, které bylo nutno provést pro odstranění vzniklých poruch a následného uvedení vozidla do stavu, kdy může plnit svou požadovanou funkci. Přehled výše uvedených nákladů na údržbu je uveden v tab. 4.8.

Tab. 4.8: Přehled nákladů na údržbu vozidel Karosa B952

Stáří vozidel - 5 let	Náklady na plánovanou údržbu [Kč]		Náklady na neplánované opravy [Kč]	
Pořadové číslo	2009	2010	2009	2010
1	31248,51	14755,72	164638,99	146518,49
2	21072,94	31873,91	89829,43	156627,50
3	19930,83	23313,94	76569,04	156397,71
4	23273,45	23463,54	126082,27	172553,02
5	20965,91	18419,77	89309,13	137976,68
Celkem	116491,64	111826,88	546428,86	770073,39
Stáří vozidel - 7 let	Náklady na plánovanou údržbu [Kč]		Náklady na neplánované opravy [Kč]	
Pořadové číslo	2009	2010	2009	2010
1	43154,15	36873,10	276240,14	166262,89
2	55088,70	14949,93	114777,25	199852,60
3	23218,98	24594,82	132798,72	125743,17
4	20530,10	18049,08	101245,72	92701,10
5	16583,34	24400,12	182610,10	202323,21
Celkem	158575,27	118867,05	807671,93	786882,96
Stáří vozidel - 9 let	Náklady na plánovanou údržbu [Kč]		Náklady na neplánované opravy [Kč]	
Pořadové číslo	2009	2010	2009	2010
1	30712,86	43445,49	183532,16	253833,29
2	48770,33	57852,18	329654,56	213408,29
3	63741,27	47832,52	230240,81	222335,86
4	29782,03	23891,37	221595,58	105733,87
5	56407,13	38035,86	238547,67	257288,26
Celkem	229413,62	211057,42	1203570,78	1052599,56

Z výše uvedené tabulky lze vyčíst, že náklady na plánovanou údržbu i na neplánované opravy se s rostoucím stářím zvyšují. Nejrazantnější nárůst těchto nákladů je patrný mezi sedmým a devátým rokem stáří vozidel, a to u plánovaných i neplánovaných údržbových zásahů. Dále pak náklady vynaložené na plánovanou údržbu jsou ve srovnání s náklady na údržbu po poruše mnohonásobně nižší.

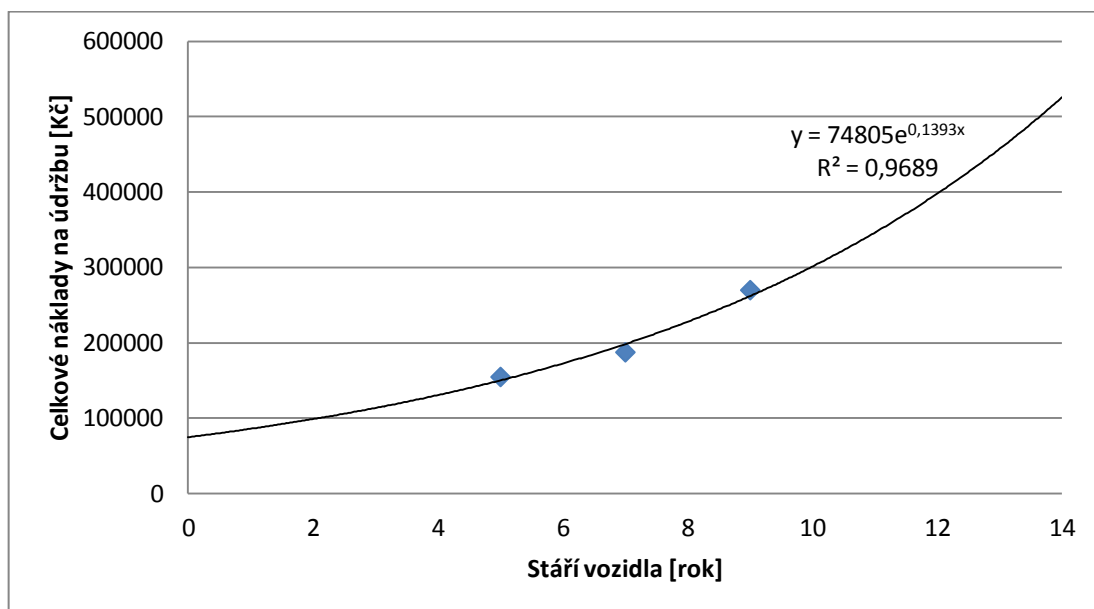
Z hlediska plánované údržby, která je realizována v souladu s vnitropodnikovou směrnici o komplexní pravidelné údržbě autobusů MHD, jsou u tohoto typu vozidel vynaloženy největší finanční náklady na prohlídku typu P6, která je prováděna při kilometrickém proběhu 60 000 km. Při ní je tedy prováděna komplexní údržba vozidla, tudíž je z hlediska množství použitých náhradních dílů a stráveného času nejnáročnější, a proto také nejnákladnější. Z hlediska údržby po poruše se jako nejnákladnější jeví opravy motoru (např. výměna palivových čerpadel, oprava chladicích systémů apod.), převodného ústrojí (např. výměna spojkových lamel, spojkových ložisek, posilovačů spojky atd.), elektroinstalace (např.: výměny alternátorů a řídicích jednotek), brzdové soustavy (např. výměna brzdového obložení, brzdových bubnů apod.) a podvozku (např. výměna tlumičů pérování, vlnovců pérování, regulačních ventilů atd.).

Celkové vynaložené náklady na jednotlivé skupiny vozidel odlišného stáří jsou uvedeny v následující tabulce 4.9.

Tab. 4.9: Přehled celkových nákladů na údržbu vozidel Karosa B952

Stáří vozidel - 5 let	
Celkové náklady na plánovanou údržbu [Kč]	228 318,52
Celkové náklady na neplánované opravy [Kč]	1 316 502,25
Celkové náklady [Kč]	1 544 820,77
Střední náklady na 1 vozidlo za 1 rok [Kč]	154 482,08
Stáří vozidel - 7 let	
Celkové náklady na plánovanou údržbu [Kč]	277 442,32
Celkové náklady na neplánované opravy [Kč]	1 594 554,89
Celkové náklady [Kč]	1 871 997,21
Střední náklady na 1 vozidlo za 1 rok [Kč]	187 199,72
Stáří vozidel - 9 let	
Celkové náklady na plánovanou údržbu [Kč]	440 471,04
Celkové náklady na neplánované opravy [Kč]	2 256 170,34
Celkové náklady [Kč]	2 696 641,38
Střední náklady na 1 vozidlo za 1 rok [Kč]	269 664,14

Pro prognózu nákladů vynaložených na údržbu jednoho vozidla je sestrojen následující graf, viz obr. č. 4.10. Následně je získanými body proložena exponenciální křivka, přičemž je určena její rovnice, do které při dosazení za neznámou proměnnou x lze určit přibližnou hodnotu středních vynaložených nákladů na jedno vozidlo Karosa B952 požadovaného stáří.



Obr. č. 4.10: Model predikce nákladů na údržbu vozidel Karosa B952 [autor]

Pokud vezmeme v úvahu vozidla stáří šesti let, lze pak náklady na údržbu jednoho vozidla určit jako:

$$NÚ = 74805 \cdot e^{0,13936}$$

$$\underline{\underline{NÚ = 172\,549,60 \text{ Kč}}}$$

Náklady na údržbu jednoho vozidla typu Karosa B952 (B952 E) stáří šesti let budou přibližně činit 172 549,60 Kč.

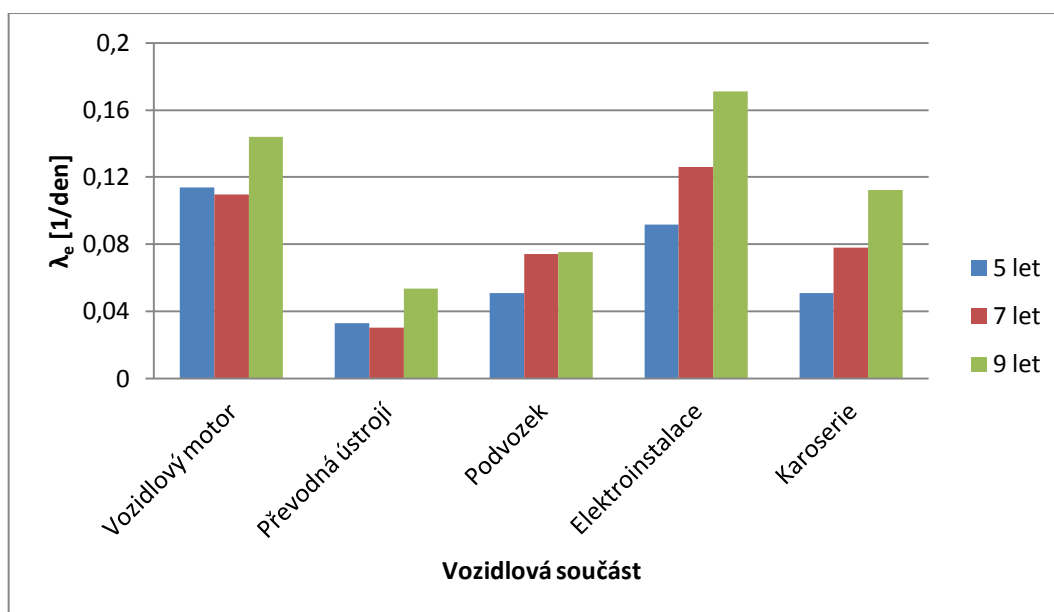
4.3 Solaris Urbino 12

Druhým vybraným typem autobusů jsou vozidla Solaris Urbino 12, kdy je rovněž sledováno patnáct vozidel odlišného stáří (tři skupiny vozidel stáří pěti, sedmi a devíti let). Pro tyto autobusy jsou dále zjišťovány základní spolehlivostní charakteristiky včetně vynaložených nákladů na jejich údržbu.

4.3.1 Intenzity poruch

Sledování intenzity poruch jednotlivých vozidlových součástí vozidel Solaris Urbino 12 je provedeno obdobným způsobem jako v kapitole 4.2.1. Tudiž je nejprve určen počet poruch vyskytujících se na dané vozidlové součásti pro každou skupinu vozidel stejného stáří, následně je přepočten počet poruch na jedno vozidlo, z nichž je poté dle vztahu (3.9) vypočtena příslušná empirická intenzita poruch. Přehled vypočtených hodnot je uveden v příloze D.

V rámci srovnání celkového počtu poruch nastává podobná situace jako u předešlého typu vozidel, a to že s rostoucím stářím nastává také nárůst počtu poruch vyskytujících se na jednotlivých součástech. Jedinými výjimkami je vozidlový motor a převodná ústrojí vozidel Solaris Urbino 12 stáří pěti a sedmi let, kdy dochází k mírnému poklesu počtu poruch, avšak posléze tato hodnota opět výrazněji vzrůstá. Dále je patrné, že nejvyšší počty poruch, respektive nejvyšší hodnoty empirických intenzit, přísluší vozidlovému motoru (stáří pěti let) a elektroinstalace (stáří sedmi a devíti let), tudíž bezporuchovost těchto součástí je ve srovnání s ostatními nejnižší. Nejvyšší nárůst hodnot empirických intenzit vzhledem k rostoucímu stáří lze spatřit především u elektroinstalace a karoserie. Naproti tomu nejnižší hodnoty počtu poruch se vyskytují, stejně jako u vozidel Karosa, u převodných ústrojí, čili jejich hodnota bezporuchovosti je nejvyšší. Pro přehlednost a srovnání vývoje empirických intenzit poruch v závislosti na stáří vozidel je sestrojena následující grafická závislost, viz obr. č. 4.11.

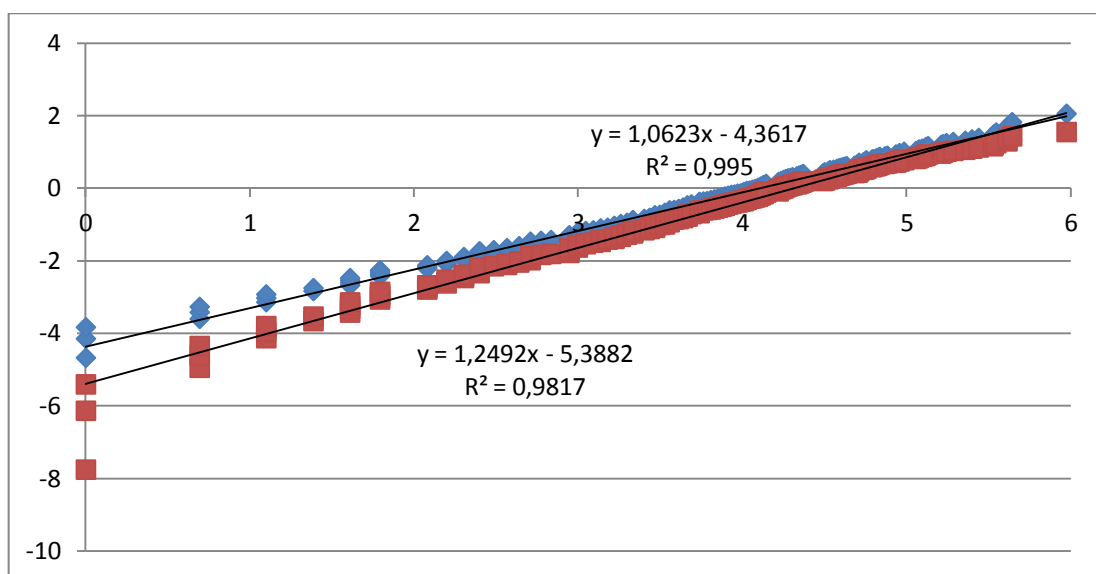


Obr. č. 4.11: Srovnání empirických intenzit poruch vozidel Solaris Urbino 12 [autor]

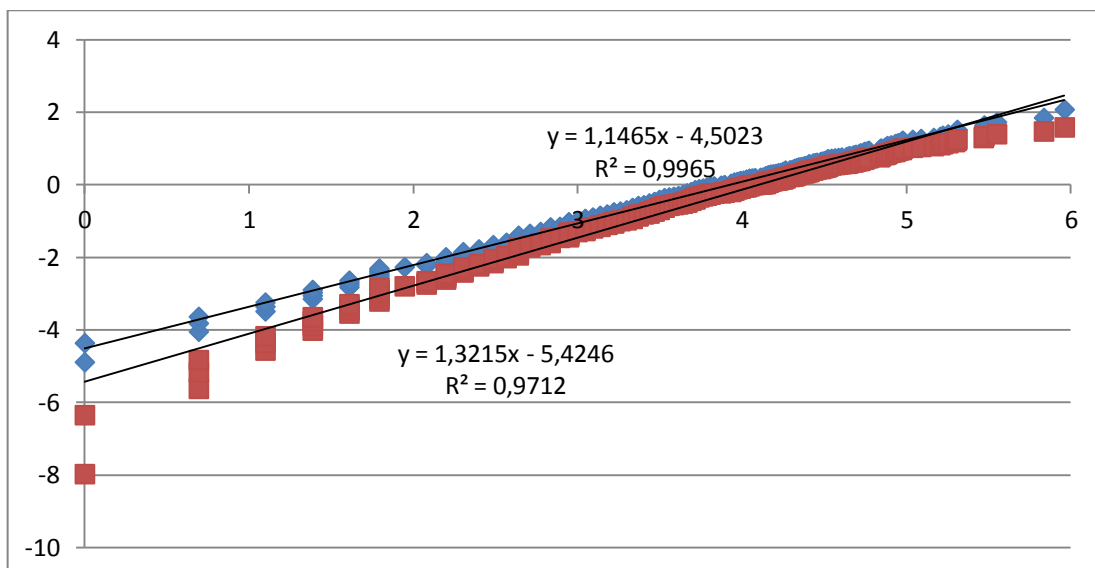
4.3.2 Výpočet intervalových odhadů střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel stejného stáří

Při výpočtu intervalových odhadů střední doby mezi poruchami pro každou skupinu pěti vozidel Solaris Urbino 12 stejného stáří je postupováno obdobným způsobem jako v kapitole 4.2.2. Vozidlo rovněž není rozčleněno na jednotlivé vozidlové součásti, ale při řešení je bráno jako celek.

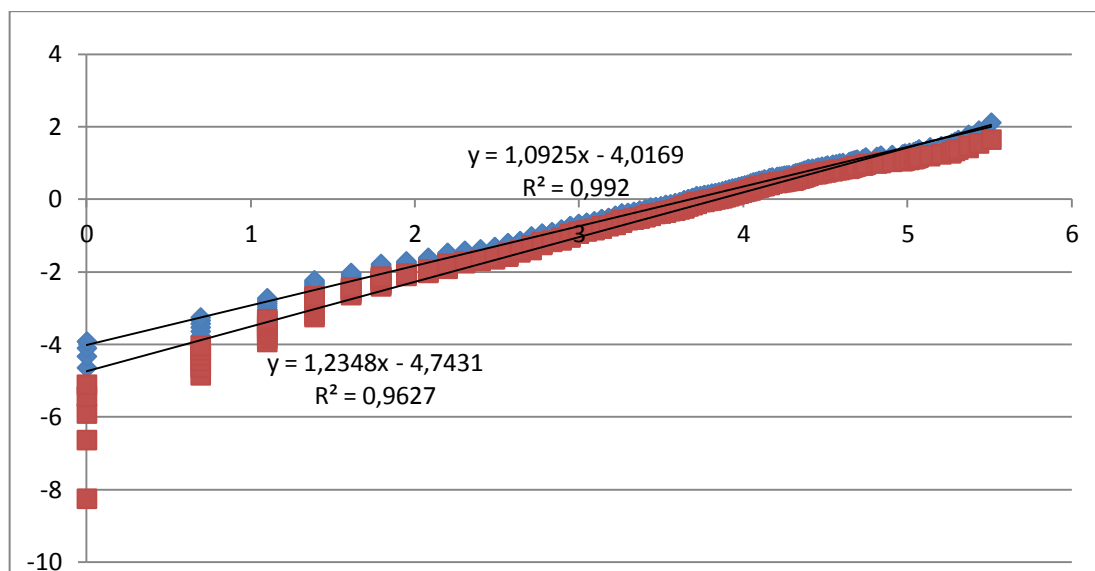
Nejprve jsou pomocí pořadové statistiky (konfidenční úroveň $C = 0,8$) a nástroje Hledání řešení programu Microsoft Excel určeny neznámé hodnoty pravděpodobností p_1 a p_2 . Poté jsou určeny souřadnice bodů na ose x a y představující dobu mezi poruchami (z důvodu intervalového odhadu náleží jedné souřadnici x dvě souřadnice y , a to y_1 a y_2). Následně jsou pak s využitím metody lineární regrese získány rovnice dvou přímek ve směrnicevém tvaru, viz obr. č. 4.12, obr. č. 4.13 a obr. 4.14.



Obr. č. 4.12: Lineární regrese pro vozidla Solaris Urbino 12 stáří pěti let [autor]



Obr. č. 4.13: Lineární regrese pro vozidla Solaris Urbino 12 stáří sedmi let [autor]



Obr. č. 4.14: Lineární regrese pro vozidla Solaris Urbino 12 stáří devíti let [autor]

Z příslušných rovnic přímek lze pak pomocí vztahu (3.25) vypočíst hledané parametry Weibullova dvoupametrického rozdělení pravděpodobnosti, ze kterých je možno vypočítat horní a dolní meze požadovaného intervalu střední doby mezi poruchami. Přehled vypočtených hodnot je uveden v tab. 4.10.

Tab. 4.10: Přehled vypočtených intervalových odhadů vozidel Solaris Urbino 12

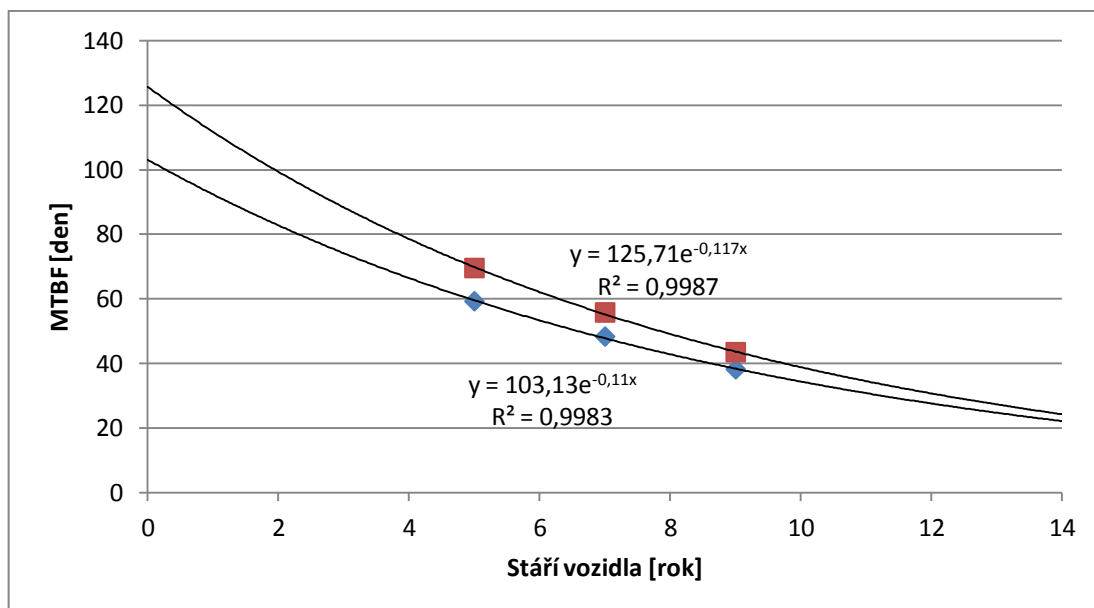
Stáří vozidel - 5 let	Dolní mez	Horní mez
Parametr tvaru m [-]	1,0623	1,2492
Parametr měřítka t_0 [den]	60,6975	74,6881
Střední hodnota T_s [den]	59,2775	69,5734
Výsledný intervalový odhad MTBF [den]	<59,28; 69,57>	
Stáří vozidel - 7 let	Dolní mez	Horní mez
Parametr tvaru m [-]	1,1465	1,3215
Parametr měřítka t_0 [den]	50,7542	60,6355
Střední hodnota T_s [den]	48,3460	55,8215
Výsledný intervalový odhad MTBF [den]	<48,35; 55,82>	
Stáří vozidel - 9 let	Dolní mez	Horní mez
Parametr tvaru m [-]	1,0925	1,2348
Parametr měřítka t_0 [den]	39,5196	46,5808
Střední hodnota T_s [den]	38,2198	43,5081
Výsledný intervalový odhad MTBF [den]	<38,22; 43,51>	

Z přehledu vypočtených hodnot vyplývá, že se zvyšujícím se stářím vozidel se střední doba mezi poruchami opět snižuje, což je zapříčiněno také výrazným nárůstem počtu poruch, které se na vozidle vyskytly za sledované období. Také v tomto případě nastává shodná situace jako u předchozího typu vozidel, a to že s rostoucím stářím se rozpětí intervalu MTBF opět zmenšuje, avšak v technické praxi lze většinou pozorovat jev opačný. Parametr tvaru Weibullova rozdělení se opět pohybuje okolo jedné, tudíž lze říci, že se jedná o stejný druh opotřebení a během celé životnosti vozidla nedochází ke změně rozdělení pravděpodobnosti. Při srovnávání s vozidly Karosa lze vydedukovat, že dolní a horní meze zmiňovaných intervalů vozidel Solaris jsou vyšší a rovněž je také větší jejich rozpětí. Lze tedy říci, že střední doba mezi poruchami je u vozidel Solaris Urbino 12 vyšší než u vozidel Karosa B952 (B952 E).

4.3.3 Model predikce intervalu střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel stejného stáří

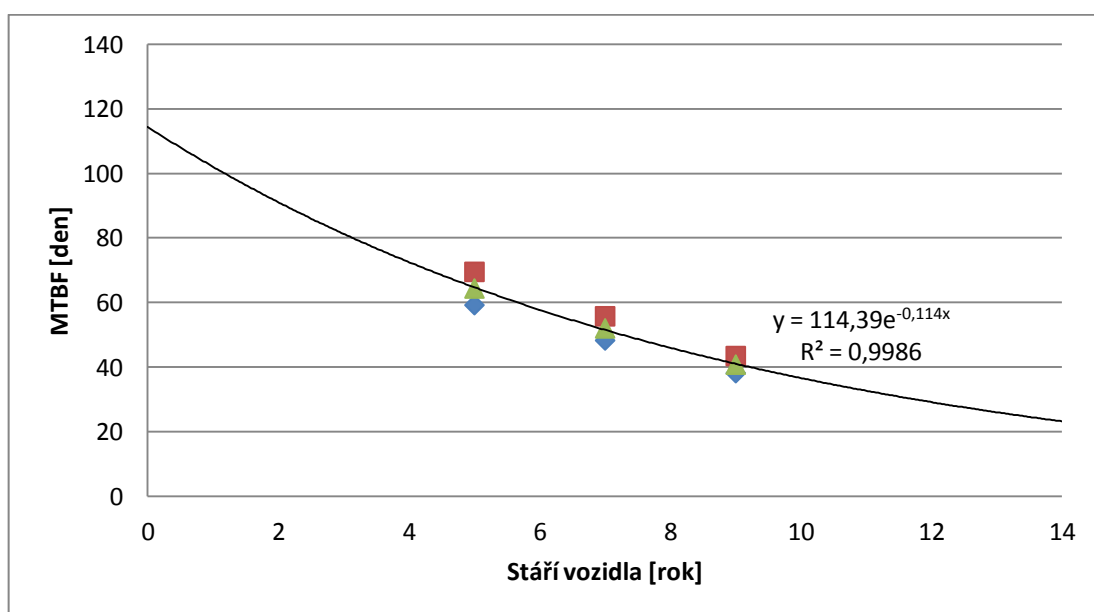
Pro získání modelu predikce střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel stejného stáří (skupiny stáří pěti, sedmi a devíti let) byly vykresleny body představující krajní meze výše zmiňovaných intervalů, kterými pak byly proloženy exponenciální křivky, které se dle srovnání indexů determinace jeví jako nejvhodnější, viz obr. č. 4.15.

Dosadíme-li za neznámou x do obou určených rovnic určitou hodnotu stáří vozidla, lze pak vypočíst přibližnou hodnotu požadovaného intervalu.



Obr. č. 4.15: Model predikce střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel Solaris Urbino 12 [autor]

Dalším sestaveným modelem je model predikce střední hodnoty intervalu střední doby mezi poruchami, který je sestaven obdobným způsobem jako model předešlý, avšak exponenciální křivkou jsou proloženy pouze body znázorňující střední hodnotu, viz obr. č. 4.16.



Obr. č. 4.16: Model predikce střední hodnoty intervalu střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel Solaris Urbino 12 [autor]

Nyní lze pro názornost vypočíst hodnotu intervalu střední doby mezi poruchami a jeho střední hodnotu. Pokud vezmeme v úvahu stáří vozidel 6 let, pak lze tedy určit:

- **dolní mez:**

$$T_D = 103,13 \cdot e^{-0,116}$$

$$\underline{T_D = 53,30 \text{ dne}}$$

- **horní mez:**

$$T_H = 125,71 \cdot e^{-0,1176}$$

$$\underline{T_H = 62,30 \text{ dne}}$$

- **střední hodnota:**

$$T_S = 114,39 \cdot e^{-0,1146}$$

$$\underline{T_S = 57,72 \text{ dne}}$$

Z výše uvedeného výpočtu vyplývá, že predikovaný interval střední doby mezi poruchami pro vozidla stáří šesti let činí $\langle 53,30; 62,30 \rangle$ dne a střední hodnota tohoto intervalu je předpokládána na hodnotu 57,72 dne. Tímto způsobem lze pak predikovat interval MTBF pro libovolné stáří vozidel.

4.3.4 Výpočet intervalových odhadů střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla

V tomto případě je prováděn intervalový odhad střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla, která přísluší do dané skupiny vozidel stejného stáří. Důvodem je zpřesnění modelu, jelikož jsou k dispozici rozsáhlejší data, měl by výsledný model prokazovat vyšší věrohodnost. Postup výpočtu je shodný jako v kapitole 4.2.2, kdy pomocí pořadové statistiky a lineární regrese jsou určeny parametry W2p rozdělení a z nich jsou vypočteny hledané intervaly. Vypočtené hodnoty pro jednotlivá vozidla jsou uvedeny v tab. 4.11.

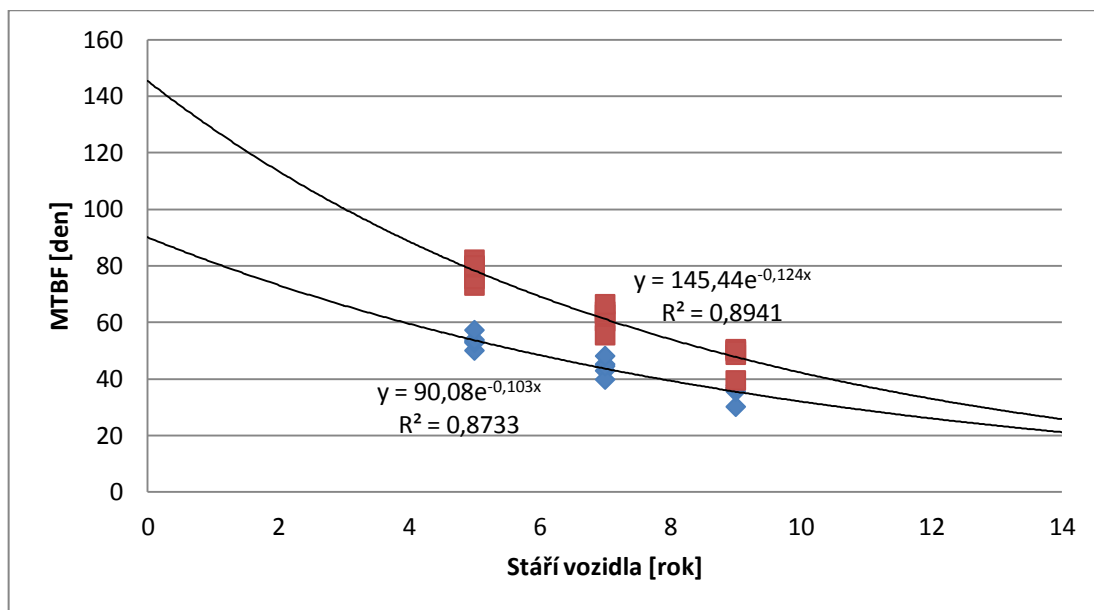
Tab. 4.11: Intervalový odhad střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla Solaris Urbino 12

Stáří vozidel - 5 let	Parametr tvaru m [-]		Parametr měřítka t_0 [den]		Střední hodnota T_s [den]		Výsledný interval MTBF [den]
Pořadové číslo	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez	
1	0,8442	1,1287	48,7987	85,8993	53,3201	82,2090	<53,32; 82,21>
2	0,9550	1,2838	49,0622	78,9325	50,0849	73,0885	<50,08; 73,09>
3	0,9533	1,3019	51,7594	81,7354	52,8831	75,4667	<52,88; 75,47>
4	0,9579	1,3255	52,8595	86,4986	53,8841	79,5855	<53,88; 79,59>
5	1,1802	1,6578	60,6519	89,6811	57,3038	80,1642	<57,30; 80,16>
Stáří vozidel - 7 let	Parametr tvaru m [-]		Parametr měřítka t_0 [den]		Střední hodnota T_s [den]		Výsledný interval MTBF [den]
Pořadové číslo	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez	
1	0,9472	1,2553	41,9105	64,9530	42,9525	60,4382	<42,95; 60,44>
2	0,9800	1,2796	39,4648	59,9239	39,8121	55,5256	<39,81; 55,53>
3	1,1801	1,5444	47,8942	69,8652	45,2514	62,8606	<45,25; 62,86>
4	1,0415	1,3557	45,3061	69,7328	44,5723	63,8966	<44,57; 63,90>
5	1,2087	1,5754	51,2751	74,0130	48,1435	66,4562	48,14; 66,46>
Stáří vozidel - 9 let	Parametr tvaru m [-]		Parametr měřítka t_0 [den]		Střední hodnota T_s [den]		Výsledný interval MTBF [den]
Pořadové číslo	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez	Dolní mez	Horní mez	
1	1,0614	1,3370	30,9086	43,0153	30,1948	39,5137	<30,19; 39,51>
2	1,0180	1,2900	35,8686	52,5476	35,6051	48,6086	<35,61; 48,61>
3	0,9775	1,2594	36,3259	54,1620	36,6874	50,3605	<36,69; 50,36>
4	0,9321	1,2079	35,7921	53,8351	36,9739	50,5556	<36,97; 50,56>
5	1,0781	1,3919	38,8525	54,6649	37,7454	49,8687	<37,75; 49,87>

Stejně jako u vozidel Karosa platí fakt vyplývající z výše uvedené tabulky, že s rostoucím stářím se rozpětí intervalu střední doby mezi poruchami zmenšuje. V rámci každé skupiny vozidel stejného stáří pak dochází k částečným rozdílům mezi hodnotami jednotlivých intervalů, největší rozdíly jsou pak patrné u vozidel stáří devíti let.

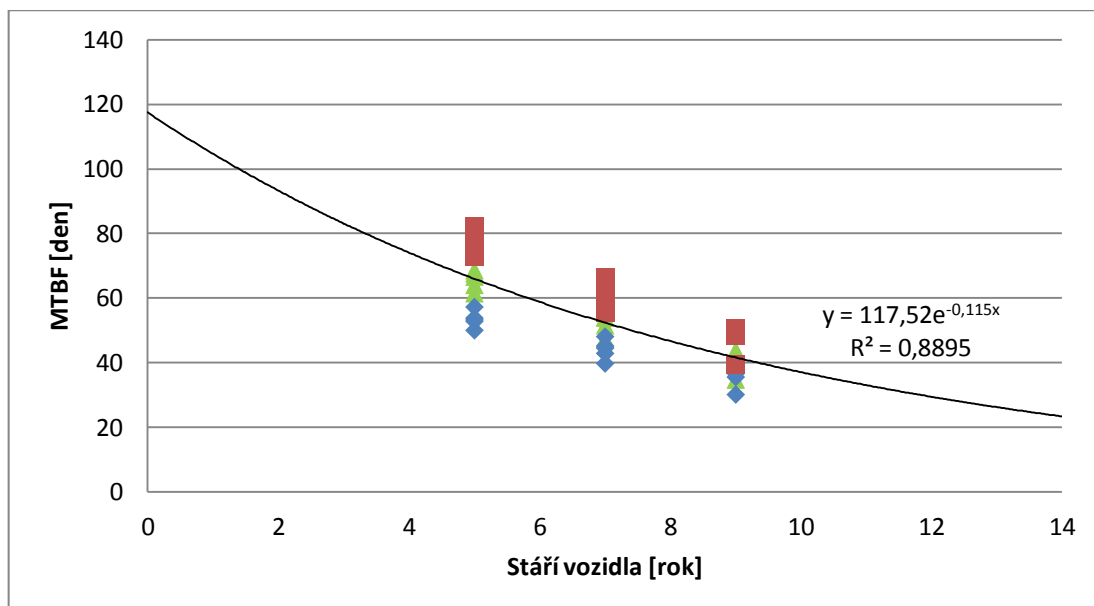
4.3.5 Model predikce intervalu střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla

Model pro predikci intervalu MTBF pro jednotlivá vozidla je určen shodným způsobem, jako v kapitole 4.2.3. Jelikož jsou vozidla řešena jednotlivě a ne po skupinách (jako v předešlé kapitole), je k dispozici větší množství dat a získaný model pak prokazuje vyšší věrohodnost. Vypočtené hodnoty mezi intervalů pro každé vozidlo společně s proloženými exponenciálními křivkami a jejich rovnicemi jsou uvedeny na obr. č. 4.17.



Obr. č. 4.17: Model predikce intervalu střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla Solaris Urbino 12 [autor].

Z výše uvedeného obrázku lze opětovně spatřit snížení indexu determinace oproti případu uvedeného v kapitole 4.3.3, což je však částečně dáno nárůstem počtu prokládaných bodů. Při srovnání s modelem pro jednotlivé skupiny vozidel stejného stáří lze říci, že při predikci intervalů střední doby mezi poruchami u vozidel do stáří sedmi let dochází k značným rozdílům hodnot intervalů mezi oběma variantami modelu. Následně pak predikce intervalů MTBF pro vozidla vyššího stáří než sedmi let nabývá bližších hodnot a u vozidel stáří devíti let a výše jsou pak hodnoty vypočtené oběma modely téměř shodné. Jako výchozí model pro predikci navrhuji použít model z obr. č. 4.17. Model pro predikci střední hodnoty střední doby mezi poruchami je zobrazen na obr. 4.18.



Obr. č. 4.18: Model predikce střední hodnoty intervalu střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla Solaris Urbino 12 [autor]

Pro srovnání s kapitolou 4.3.3 je proveden výpočet pro stáří vozidel šesti let následujícím postupem:

- **dolní mez:**

$$T_D = 90,08 \cdot e^{-0,1036}$$

$$\underline{\underline{T_D = 48,56 \text{ dne}}}$$

- **horní mez:**

$$T_H = 145,44 \cdot e^{-0,1246}$$

$$\underline{\underline{T_H = 69,11 \text{ dne}}}$$

- **střední hodnota:**

$$T_S = 117,52 \cdot e^{-0,1156}$$

$$\underline{\underline{T_S = 58,95 \text{ dne}}}$$

Z výše uvedeného výpočtu vyplývá, že hodnota intervalu střední doby mezi poruchami činí $\langle 48,56; 69,11 \rangle$ dne a jeho střední hodnota je stanovena na 58,95 dne. Dále lze říci, že rozpětí hledaných intervalů střední doby mezi poruchami při porovnání obou modelů je do určitého stáří vozidel dosti rozdílné. Avšak střední hodnota těchto intervalů je přibližně shodná v rámci obou modelů predikce střední hodnoty pro jakékoliv stáří vozidel, tudíž odlišnost obou modelů je poměrně dosti malá (modely jsou téměř shodné).

4.3.6 Součinitel pohotovosti

Pro srovnání pohotovosti autobusů Solaris Urbino 12 je pro každou skupinu vozidel stejného stáří spočten ustálený součinitel pohotovosti, jakožto podíl střední doby bezporuchového provozu a střední doby provozu vozidel, viz tab. 4.12.

Tab. 4.12: Hodnoty ustáleného součinitele pohotovosti vozidel Solaris Urbino 12

Stáří vozidel - 5 let	2009		2010		A(t) [-]
Pořadové číslo	T_{so} [den]	T_{sp} [den]	T_{so} [den]	T_{sp} [den]	
1	8	357	23	342	0,9575
2	16	349	17	348	0,9548
3	9	356	10	355	0,9740
4	8	357	24	341	0,9562
5	8	357	19	346	0,9630
Celkem	49	1776	93	1732	0,9611
Stáří vozidel - 7 let	2009		2010		A(t) [-]
Pořadové číslo	T_{so} [den]	T_{sp} [den]	T_{so} [den]	T_{sp} [den]	
1	29	336	11	354	0,9452
2	9	356	30	335	0,9466
3	9	356	15	350	0,9671
4	45	320	4	361	0,9329
5	10	355	22	343	0,9562
Celkem	102	1723	82	1743	0,9496
Stáří vozidel - 9 let	2009		2010		A(t) [-]
Pořadové číslo	T_{so} [den]	T_{sp} [den]	T_{so} [den]	T_{sp} [den]	
1	9	356	54	311	0,9137
2	6	359	9	356	0,9795
3	16	349	20	345	0,9507
4	19	346	29	336	0,9342
5	18	347	28	337	0,9370
Celkem	68	1757	140	1685	0,9430

Ukázkový výpočet vycházející ze vztahu (3.33) je proveden pro skupinu vozidel stáří pěti let:

$$A = \frac{1776 + 1732}{49 + 1776 + 93 + 1732}$$

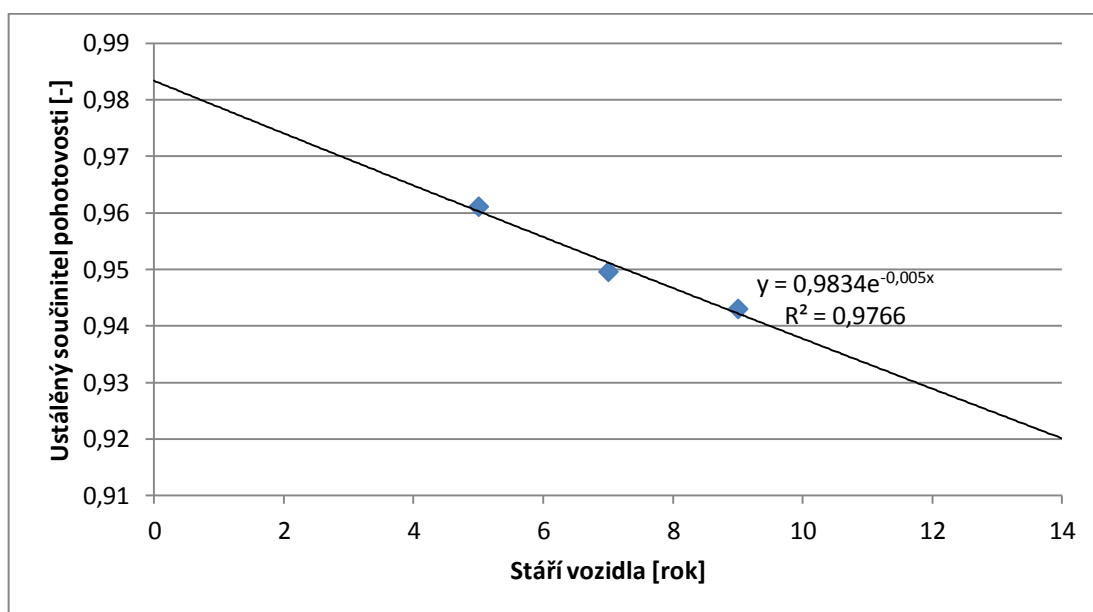
$$\underline{\underline{A = 0,9611}}$$

Stejným způsobem jsou poté určeny hodnoty ustáleného součinitele pohotovosti pro jednotlivá vyhodnocovaná vozidla a také pro celé skupiny vozidel. Z tab. 4.12 vyplývá již zmiňovaná závislost, a to že s rostoucím stářím vozidel hodnota ustáleného součinitele

pohotovosti klesá. Avšak mezi jednotlivými skupinami vozidel stejného stáří není tento pokles nikterak prudký. Při srovnání vozidel stáří pěti a sedmi let činí hodnota poklesu přibližně 0,0115, u vozidel stáří sedmi a devíti let je pak tento pokles ještě nižší, a to 0,0066.

Pokud bychom mezi sebou srovnávali jednotlivá vozidla odlišného stáří, je nutné podotknout, že některá vozidla vyššího stáří opět vykazují vyšší hodnoty ustáleného součinitele pohotovosti než vozidla stáří nižšího. Tyto odlišnosti lze přisoudit rozdílné závažnosti poruch, které se během sledovaného období na daných vozidlech vyskytly. Podrobněji je tato problematika popsána v kapitole 4.2.6.

Výsledná hodnota ustáleného součinitele pohotovosti pro všechna vozidla dohromady činí 0,9512, což je hodnota nižší, než u vozidel Karosa B952 (952 E). Průběh ustáleného součinitele pohotovosti pro jednotlivé skupiny vozidel a model pro jeho predikci při daném stáří vozidla je uveden na obr. č. 4.19.



Obr. č. 4.19: Model predikce ustáleného součinitele pohotovosti vozidel Solaris Urbino 12 [autor]

Vezmeme-li v úvahu opět vozidla stáří šesti let, lze ustálený součinitel pohotovosti určit takto:

$$y = 0,9834 \cdot e^{-0,0056}$$

$$\underline{\underline{y = 0,9543}}$$

4.3.7 Náklady na údržbu

Náklady na údržbu vozidel, které byly v letech 2009 a 2010 vynaloženy, jsou stejně jako v kapitole 4.2.7 sestaveny z nákladů na plánovanou údržbu (preventivní prohlídky) a neplánované opravy (opravy po poruše). Do nákladů jsou také započítány použité náhradní díly a čas, který byl na daném údržbovém zásahu stráven. Přehled těchto nákladů na jednotlivá vozidla i celé skupiny vozidel je uveden v následující tabulce 4.13.

Tab. 4.13: Přehled nákladů na údržbu vozidel Solaris Urbino 12

Stáří vozidel - 5 let	Náklady na plánovanou údržbu [Kč]		Náklady na neplánované opravy [Kč]	
Pořadové číslo	2009	2010	2009	2010
1	30663,13	23541,85	190181,82	103989,10
2	18102,64	32184,18	92309,72	144993,71
3	18572,40	21562,50	132514,55	140279,49
4	36889,47	32883,49	214340,64	179860,07
5	29831,95	19448,50	120879,42	125428,73
Celkem	134059,59	129620,52	750226,16	694551,09
Stáří vozidel - 7 let	Náklady na plánovanou údržbu [Kč]		Náklady na neplánované opravy [Kč]	
Pořadové číslo	2009	2010	2009	2010
1	45454,44	29248,58	152512,61	152099,82
2	34199,82	49580,62	104617,29	174983,23
3	27701,25	17270,78	198439,39	148984,92
4	38129,48	36643,81	148787,09	151232,75
5	16943,71	28686,87	117396,16	165225,15
Celkem	162428,70	161430,66	721752,55	792525,87
Stáří vozidel - 9 let	Náklady na plánovanou údržbu [Kč]		Náklady na neplánované opravy [Kč]	
Pořadové číslo	2009	2010	2009	2010
1	29337,60	52584,11	247630,65	287763,66
2	39001,58	30592,27	199212,39	181216,15
3	32883,65	41804,01	184741,76	198655,03
4	27993,95	18340,25	134772,46	194355,64
5	30084,86	32600,10	189553,84	147178,60
Celkem	159301,64	175920,74	955911,10	1009169,06

Z tabulky 4.13 vyplývá, že celkové náklady vynaložené na údržbu vozidel v rámci celé skupiny vozidel se s rostoucím stářím zvyšují. Nejvýraznější nárůst nákladů na neplánované opravy lze spatřit mezi sedmým a devátým rokem stáří. Avšak rozdíl mezi náklady vynaloženými na vozidla stará pět a sedm let není nikterak velký, v roce 2009 dokonce náklady na neplánovanou údržbu vozidel stáří pěti let byly vyšší. Jedním

z možných vysvětlení tohoto stavu je skutečnost, že u vozidel nižšího stáří došlo k výskytu poruch takových vozidlových součástí, jejichž oprava a zpětné uvedení do pohotovostního stavu bylo mnohem finančně nákladnější, přičemž tyto poruchy u vozidel vyššího stáří nenastaly. Podobný stav lze také pozorovat u nákladů na plánovanou údržbu. V tomto případě došlo k situaci, kdy celkové náklady na preventivní údržbu skupin vozidel stáří sedmi let jsou za rok 2009 vyšší, než pro vozidla vyššího stáří. Avšak je nutno podotknout, že rozdíl těchto nákladů není příliš značný, jedná se o 3127,06 Kč, což při přepočtu na jedno vozidlo je poměrně zanedbatelný rozdíl.

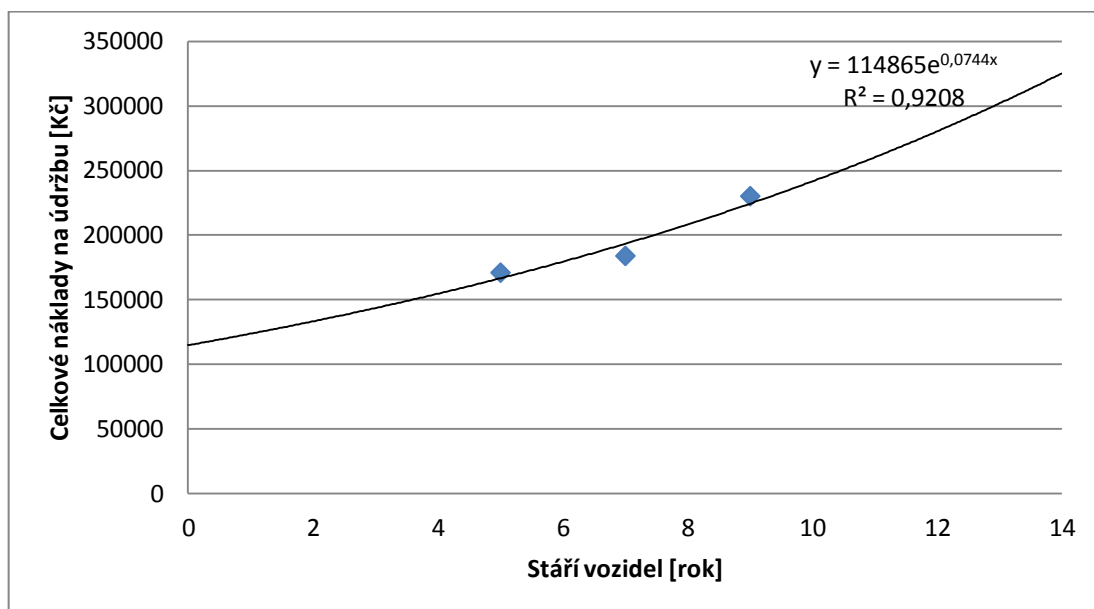
Z výše uvedených finančních nákladů lze spatřit, že převážnou část tvoří náklady použité na neplánované opravy po poruše. Jako nejčastější a zároveň nejnákladnější opravy, které byly na vozidlech prováděny, lze uvést opravy elektroinstalace (výměny řídících jednotek, alternátorů, ventilátorů front-boxu apod.), brzdové soustavy (výměna třmenů, brzdových kotoučů a obložení atd.), podvozku (výměny ložisek nábojů, vzduchových měchů pérování apod.) a karoserie (výměny čelních skel, dveřních válců atd.). Z hlediska plánované údržby lze jako nejnákladnější označit pravidelnou prohlídku P6, která se stejně jako u vozidel Karosa provádí po 60 000 km a je při ní provedena komplexní údržba vozidla.

Celkové náklady na jednotlivé skupiny vozidel stejného stáří jsou uvedeny v tabulce 4.14.

Tab. 4.14: Přehled celkových nákladů na údržbu vozidel Solaris Urbino 12

Stáří vozidel - 5 let	
Celkové náklady na plánovanou údržbu [Kč]	263 680,11
Celkové náklady na neplánované opravy [Kč]	1 444 777,26
Celkové náklady [Kč]	1 708 457,37
Střední náklady na 1 vozidlo za 1 rok [Kč]	170 845,74
Stáří vozidel - 7 let	
Celkové náklady na plánovanou údržbu [Kč]	323 859,36
Celkové náklady na neplánované opravy [Kč]	1 514 278,42
Celkové náklady [Kč]	1 838 137,78
Střední náklady na 1 vozidlo za 1 rok [Kč]	183 813,78
Stáří vozidel - 9 let	
Celkové náklady na plánovanou údržbu [Kč]	335 222,38
Celkové náklady na neplánované opravy [Kč]	1 965 080,16
Celkové náklady [Kč]	2 300 302,54
Střední náklady na 1 vozidlo za 1 rok [Kč]	230 030,25

Pro sestavení modelu pro prognózování nákladů na údržbu jednoho vozidla určitého stáří je sestrojena následující grafická závislost, viz obr. č. 4.20. Vynesené body jsou proloženy křivkou exponenciálního tvaru a je určena její rovnice, ze které lze určit přibližnou hodnotu středních nákladů na jedno vozidlo Solaris Urbino 12 požadovaného stáří.



Obr. č. 4.20: Model predikce nákladů na údržbu vozidel Solaris Urbino 12 [autor]

Vezmeme-li opět v úvahu vozidla stáří šesti let, je možno přibližnou hodnotu nákladů na údržbu určit následujícím způsobem:

$$NÚ = 114865 \cdot e^{0,07446}$$

$$\underline{\underline{NÚ = 179\,496,83\,Kč}}$$

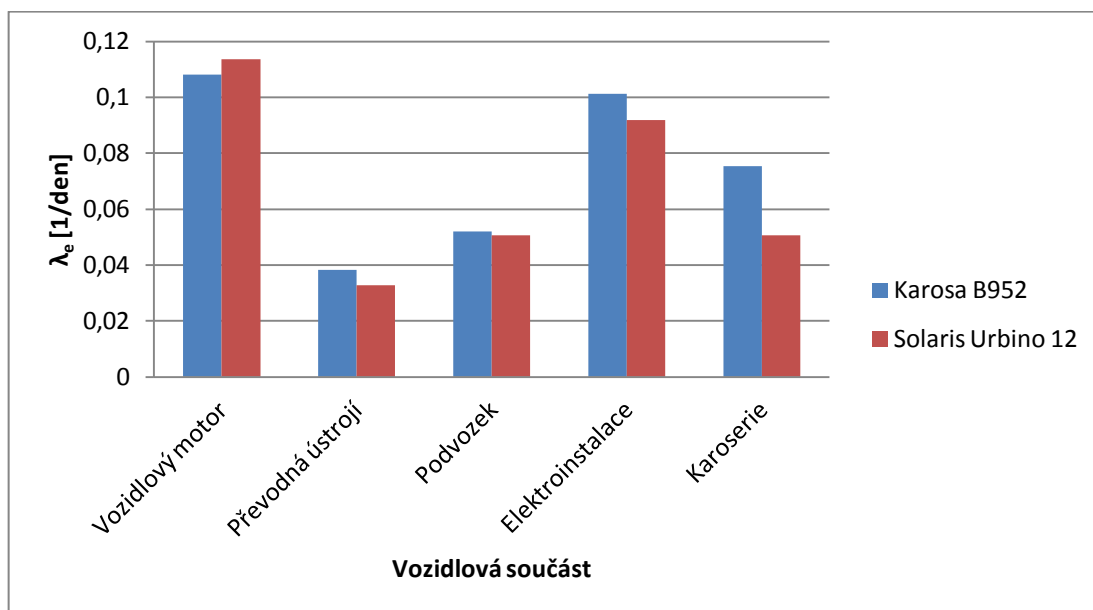
Vynaložené náklady na údržbu jednoho vozidla Solaris Urbino 12 stáří šesti let budou přibližně činit 179 496,83 Kč.

5 Technicko-ekonomické zhodnocení

V této kapitole je provedeno zhodnocení získaných spolehlivostních charakteristik podle technického a ekonomického hlediska. Jedná se především o posouzení bezporuchovosti, intervalů střední doby mezi poruchami včetně příslušných modelů predikce, pohotovosti a nákladů na údržbu, které byly na pozorovaná vozidla vynaloženy v letech 2009 a 2010.

5.1 Hodnocení bezporuchovosti

Bezporuchovost je v této práci hodnocena pomocí empirických intenzit poruch jednotlivých vozidlových součástí, které byly určeny pro dané skupiny vozidel příslušného stáří. Při srovnání empirických intenzit poruch vozidel stáří pěti let lze vyjít z následujícího grafického znázornění, viz obr. č. 5.1.

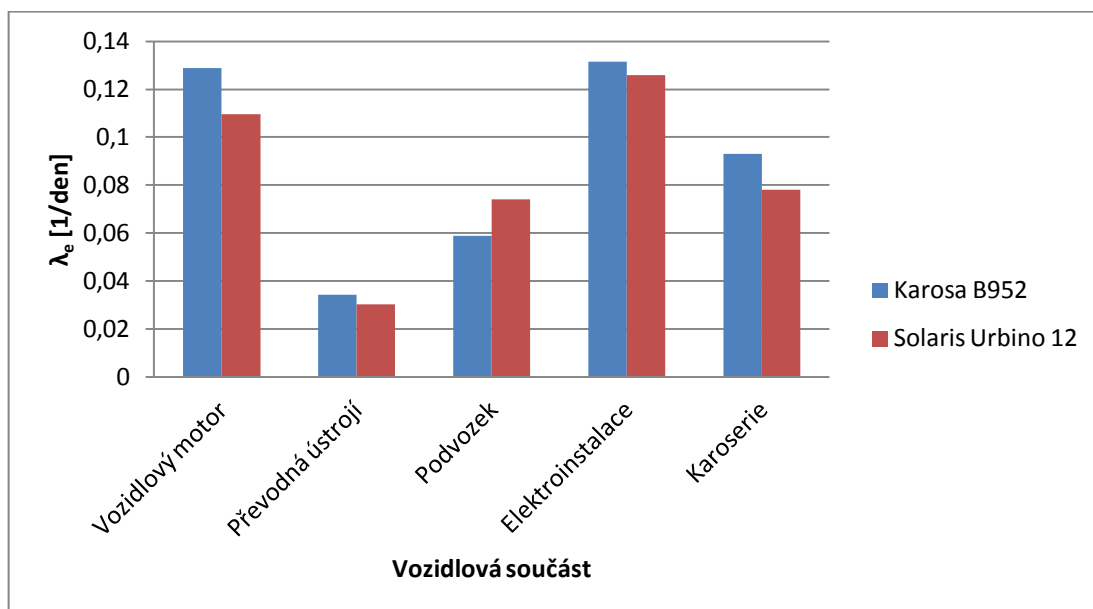


Obr. č. 5.1: Srovnání empirických intenzit poruch vozidel stáří pěti let [autor]

Z výše uvedeného grafu lze vyčíst, že empirická intenzita poruch je u všech vozidlových součástí vyjma vozidlového motoru vyšší u autobusů Karosa B952 stáří pěti let než u nízkopodlažních autobusů Solaris Urbino 12 totožného stáří. Pro oba typy vozidel platí, že součást s nejvyšší intenzitou poruch, tudíž s nejnižší hodnotou bezporuchovosti, je vozidlový motor, který je následován elektroinstalací. Naopak součástí s nejnižší intenzitou poruch, tudíž s nejvyšší hodnotou bezporuchovosti, jsou jednoznačně převodná ústrojí

u obou typů vozidel. Pokud vezmeme v úvahu celkový počet poruch, lze prohlásit, že vozidla Karosa mají vyšší celkový počet poruch, tudíž jejich bezporuchovost je v porovnání s vozidly Solaris nižší.

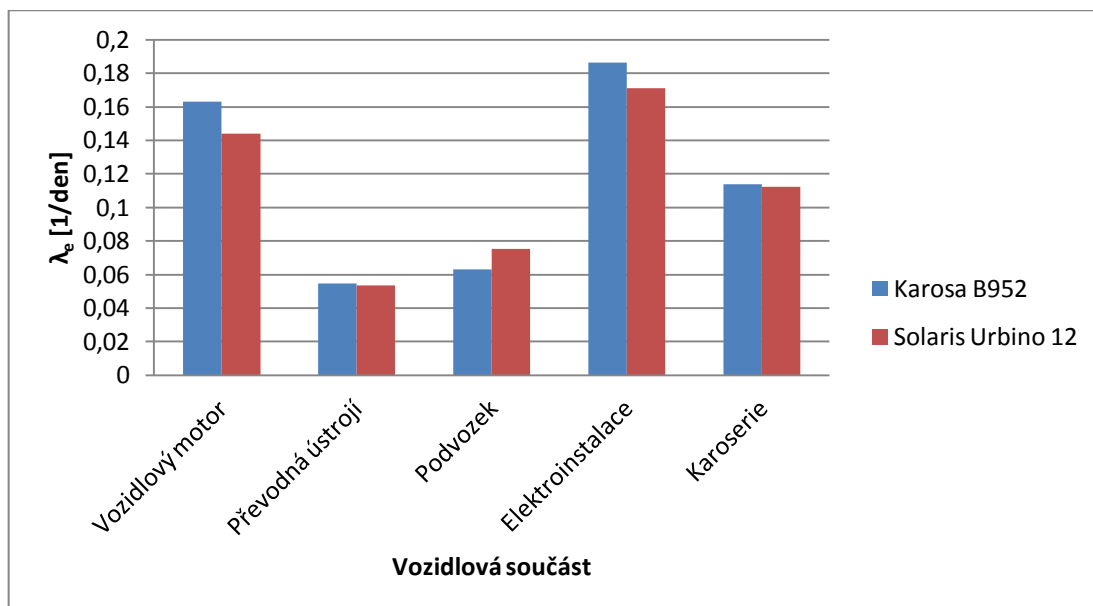
Pro porovnání bezporuchovosti vozidel stáří sedmi let lze vyjít z obr. č. 5.2.



Obr. č. 5.2: Srovnání empirických intenzit poruch vozidel stáří sedmi let [autor]

Z obr. č. 5.2 vyplývá fakt, že intenzita poruch vozidel Karosa stáří sedmi let je opět u všech vozidlových součástí vyjma podvozku vyšší než u autobusů Solaris. Nejvyšší empirická intenzita poruch se vyskytuje u obou typů vozidel u elektroinstalace, tudíž ji lze prohlásit jako součást s nejnižší hodnotou bezporuchovosti. Největší vzájemný rozdíl ve velikosti empirických intenzit poruch se vyskytuje u vozidlového motoru, kdy u vozidel Solaris stáří sedmi let došlo k mírnému poklesu intenzity poruch oproti vozidlům stáří pěti let. Stejný jev lze pozorovat také u převodných ústrojí obou typů vozidel, kdy také došlo k mírnému poklesu intenzit poruch. Avšak u ostatních vozidlových součástí již platí fakt, že s rostoucím stářím se intenzita poruch zvyšuje, čili bezporuchovost vozidel s rostoucím stářím klesá. Z hlediska vzájemného srovnání obou typů vozidel lze prohlásit, že bezporuchovost vozidel Karosa stáří sedmi let je nižší než u vozidel Solaris stejného stáří.

Pro oba typy autobusů stáří devíti let lze pro jejich vzájemné srovnání použít následující grafické znázornění, viz obr. 5.3



Obr. č. 5.3: Srovnání empirických intenzit poruch vozidel stáří devíti let [autor]

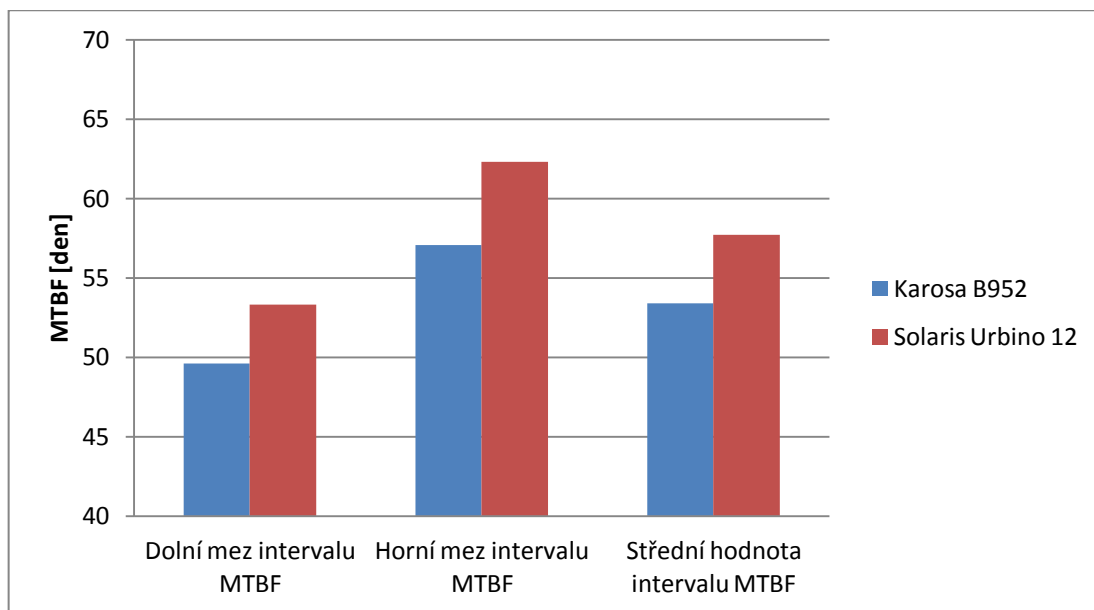
Z obr. č. 5.3 vyplývá stejný fakt jako v předešlém případě, a to že intenzita poruch vozidel Karosa stáří devíti let je opět u všech vozidlových součástí vyjma podvozku vyšší než u autobusů Solaris. Dále pak rozdíly mezi velikostmi intenzit poruch u převodných ústrojí i u karoserie jsou minimální. Nejvyšší intenzita poruch je opět patrná u elektroinstalace obou typů vozidel, tudíž tato součást má opět nejnížší hodnotu bezporuchovosti. Na druhou stranu nejnížší intenzita poruch, čili nejvyšší bezporuchovost je opět u převodných ústrojí. Při srovnání s obrázkem č. 5.2 je patrné, že došlo k nárůstu počtu poruch, tudíž i příslušných empirických intenzit u všech vozidlových součástí, čili platí fakt, že s rostoucím stářím počet poruch roste. Z hlediska srovnání obou typů vozidel lze prohlásit, že bezporuchovost vozidel Solaris stáří devíti let je vyšší než u vozidel Karosa.

Závěrem této podkapitoly lze říci, že bezporuchovost vozidel Solaris Urbino 12 bez ohledu na stáří je vyšší než u vozidel Karosa B952. V rámci jednotlivých vozidlových skupin nabývají nejvyšších hodnot intenzit poruch vozidlové motory (stáří 5 let) a elektroinstalace (stáří 7 a 9 let) u obou typů vozidel, tudíž právě tyto součásti lze prohlásit za nejvíce poruchové, čili jejich bezporuchovost je ve srovnání s ostatními vozidlovými součástmi nejnížší. Nejvyšší bezporuchovost naopak vykazují převodná ústrojí u obou typů zkoumaných vozidel.

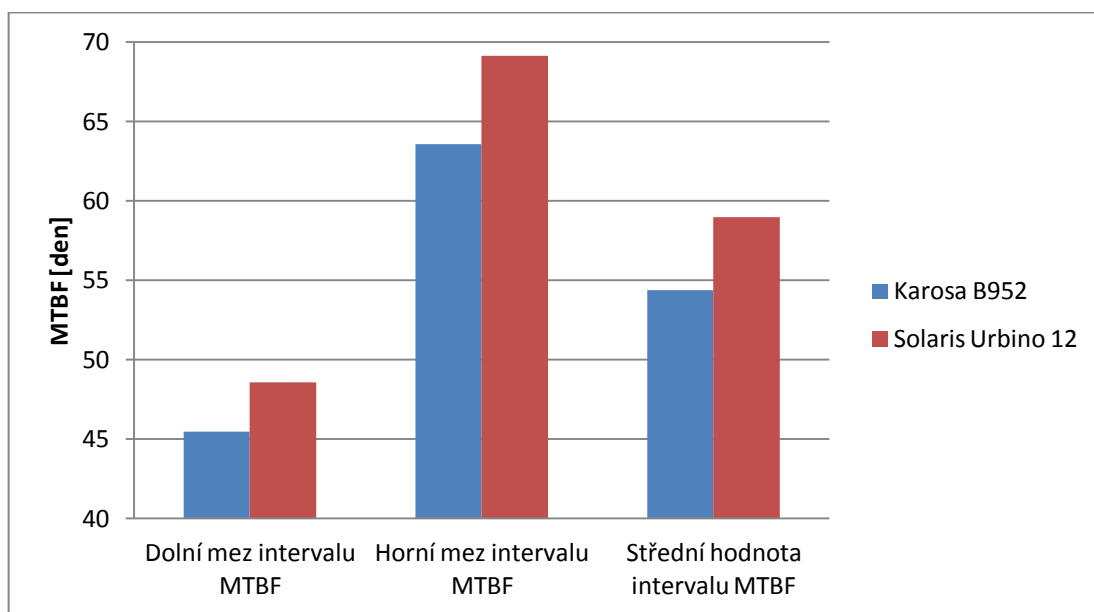
5.2 Hodnocení intervalů střední doby mezi poruchami včetně modelů predikce

Intervalové odhady střední doby mezi poruchami byly vypočteny pomocí parametrů Weibullova dvouparametrického rozdělení pravděpodobnosti, přičemž zmiňované parametry byly odhadnuty s využitím lineární regrese a pořadové statistiky. Při zhodnocení parametru tvaru Weibullova rozdělení lze říci, že jeho velikost se pohybuje u obou typů vozidel okolo jedné, tudíž se jedná o stejný druh opotřebení a také v průběhu celé životnosti vozidla nedochází ke změně rozdělení pravděpodobnosti. U obou srovnávaných typů vozidel také platí, že s rostoucím stářím klesá střední doba mezi poruchami, tudíž klesá i jejich bezporuchovost. Oproti autobusům Karosa B952 lze u vozidel Solaris Urbino 12 spatřit, že dolní a horní meze zmiňovaných intervalů jsou vyšší a také je větší jejich rozpětí, tudíž střední doba mezi poruchami je u těchto nízkopodlažních vozidel vyšší.

Pro predikci vývoje intervalu střední doby mezi poruchami včetně jeho střední hodnoty byly vytvořeny dva rozdílné modely pro každý typ autobusů, a to model pro jednotlivé skupiny vozidel stejného stáří a model pro jednotlivá vozidla, kdy byla vozidla řešena samostatně. Při srovnání obou modelů pro vozidla Karosa lze říci, že největší rozdíl mezi nimi nastává při případné predikci do stáří pěti let, následně pak predikce nabývá bližších hodnot a u vozidel stáří devíti let a více jsou pak predikované intervaly téměř shodné. U vozidel Solaris nastává obdobná situace, při případné predikci u vozidel do stáří sedmi let dochází k značným rozdílům, následně pak intervaly nabývají mnohem bližších hodnot a u vozidel starších devíti let jsou pak hodnoty získané oběma modely téměř shodné. Zajímavostí však je, že při predikci střední hodnoty intervalů MTBF lze pomocí obou modelů pro příslušný typ vozidel získat téměř totožné hodnoty. Pro srovnání obou modelů vytvořených pro zkoumané typy vozidel bylo vzato v úvahu stáří vozidel šest let a byly sestrojeny následující grafické závislosti, viz obr. č. 5.4 a obr. č. 5.5.



Obr. č. 5.4: Srovnání modelu predikce pro skupiny vozidel stejného stáří – predikce stáří 6 let [autor]

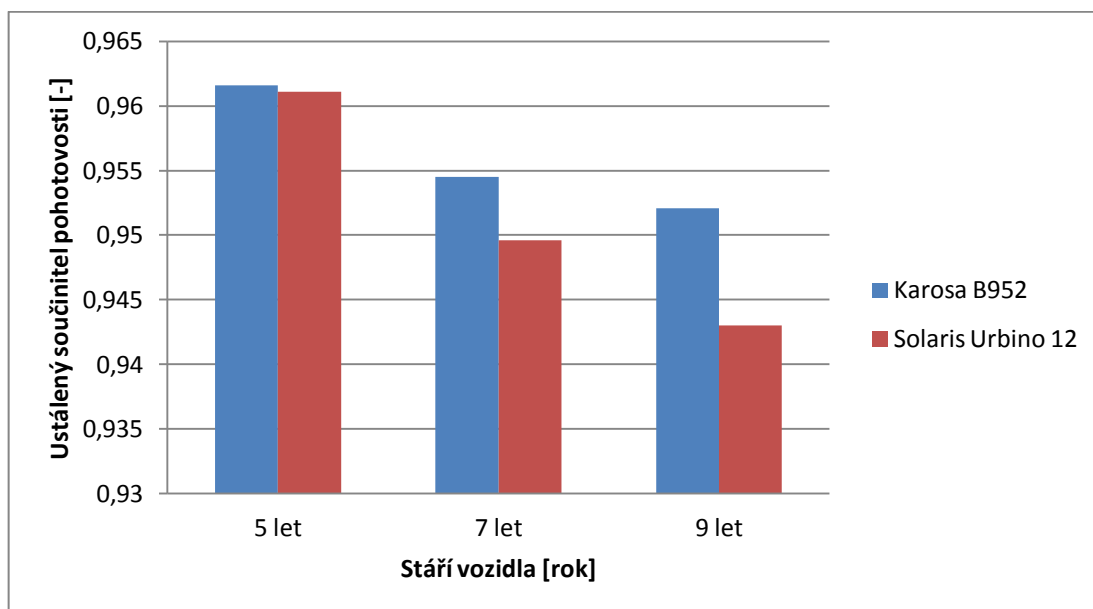


Obr. č. 5.5: Srovnání modelu predikce pro jednotlivá vozidla – predikce stáří 6 let [autor]

Z výše uvedených grafických závislostí lze vyčíst, že střední hodnota intervalu MTBF pro stáří vozidel šest let nabývá pro oba získané modely pro daný typ autobusů téměř totožných hodnot. Avšak při použití modelu predikce pro jednotlivá vozidla lze spatřit větší rozpětí intervalu střední doby mezi poruchami oproti modelu predikce skupiny vozidel. Jelikož však model pro jednotlivá vozidla vychází z většího množství dat, lze tedy říci, že je věrohodnější, tudíž bych jej zvolil jako výchozí model pro predikci intervalů střední doby mezi poruchami.

5.3 Hodnocení pohotovosti

Pohotovost srovnávaných vozidel byla hodnocena pomocí ustáleného součinitele pohotovosti, který byl určen pro jednotlivé skupiny autobusů příslušného stáří. Pro vzájemné srovnání ustáleného součinitele pohotovosti lze vyjít z následující grafické závislosti, viz obr. č. 5.6.



Obr. č. 5.6: Srovnání ustáleného součinitele pohotovosti [autor]

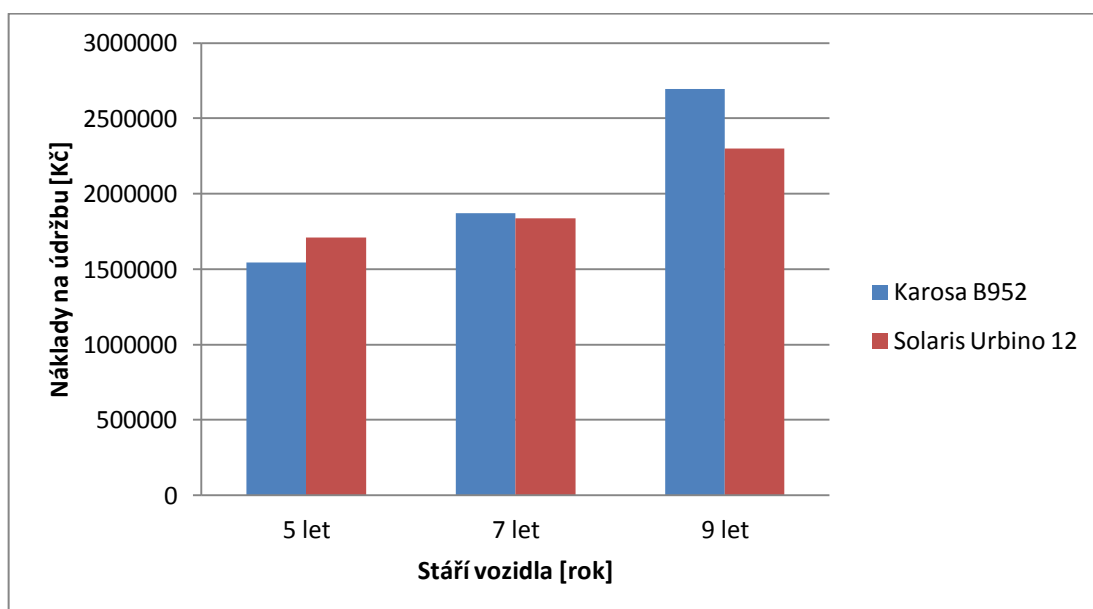
Z obrázku č. 5.6 vyplývá fakt, že s rostoucím stářím vozidel klesá také součinitel pohotovosti. Tento pokles není nikterak razantní, avšak při vzájemném srovnání vozidel lze vyčíst, že ustálený součinitel pohotovosti klesá rychleji u autobusů Solaris. U vozidel stáří pěti let jsou rozdíly ve velikosti zmiňovaného součinitele u obou typů vozidel téměř minimální, avšak s rostoucím stářím se pak tyto rozdíly zvětšují.

Ačkoliv vozidla Solaris vykazují nižší počet poruch a tím pádem vyšší bezporuchovost, mají nižší hodnotu součinitele pohotovosti než vozidla Karosa. Toto lze odůvodnit skutečností, že i když vozidla Solaris mají nižší počet poruch, jejich závažnost je vyšší, a tudíž pro jejich odstranění je potřeba vykonat takové údržbové zásahy, jejichž trváním dochází k vyššímu nárůstu střední doby obnovy, a tím i k snížení součinitele pohotovosti.

5.4 Hodnocení nákladů na údržbu

Náklady vynaložené na plánovanou údržbu vozidel jsou v porovnání s náklady na neplánované opravy po poruše mnohonásobně nižší. Z hlediska nákladů na plánovanou údržbu lze říci, že s rostoucím stářím vozidel dochází také k růstu těchto nákladů. Při porovnání obou zkoumaných typů vozidel vyplývá, že náklady na preventivní údržbu jsou vyšší pro vozidla Solaris stáří pěti a sedmi let, následně pak však nedochází k jejich razantnímu nárůstu, tak jako u vozidel Karosa, jejichž náklady rapidně vzrůstají při stáří devíti let. Při srovnání celkových nákladů vynaložených na preventivní údržbu všech zkoumaných vozidel bez ohledu na jejich stáří lze prohlásit vozidla Solaris za méně nákladná.

V rámci neplánované údržby nastává obdobná situace, a to že se zvyšujícím se stářím opět náklady na údržbu po poruše vzrůstají. Pro oba typy zkoumaných autobusů lze říci, že dochází k velice markantnímu nárůstu těchto vynaložených finančních prostředků mezi sedmým a devátým rokem stáří vozidel. Z celkového pohledu na náklady na neplánovanou údržbu všech porovnávaných vozidel lze označit vozidla Karosa za více nákladné než autobusy Solaris. Pro srovnání celkových nákladů vynaložených na údržbu jednoho vozidla příslušného stáří je vytvořena následující grafická závislost, viz obr. č. 5.7.



Obr. č. 5.7: Srovnání nákladů na údržbu [autor]

Z výše uvedeného grafu lze vyčíst, že u skupin vozidel stáří pěti let jsou vynaloženy vyšší celkové náklady na vozidla Solaris, v rámci obou typů vozidel stáří sedmi let jsou

pak tyto náklady téměř totožné a následně při vyšším stáří lze pak spatřit mnohem razantnější nárůst vynaložených finančních prostředků na vozidla Karosa než na nízkopodlažní autobusy Solaris.

5.5 Závěr

V závěru této diplomové práce jsou shrnuty získané spolehlivostní charakteristiky zkoumaných typů vozidel:

- nejvyšší intenzity poruch se vyskytují u vozidlových motorů (stáří 5 let) a u elektroinstalace (stáří 7 a 9 let) u obou typů vozidel, tudíž tyto vozidlové součásti mají rovněž nejnižší bezporuchovost (viz kapitola 5.1),
- bezporuchovost vozidel Solaris Urbino 12 je vyšší než u vozidel Karosa B952 (viz kapitola 5.1),
- při predikci intervalů střední doby mezi poruchami dosahují vozidla Solaris Urbino 12 vyšších hodnot příslušných intervalů než vozidla Karosa B952 (viz kapitola 5.2),
- pohotovost vozidel Karosa B952 je v rámci všech věkových skupin nepatrně vyšší než u autobusů Solaris Urbino 12 (viz kapitola 5.3),
- z hlediska celkových nákladů na údržbu jsou vynaloženy vyšší náklady na vozidla Solaris Urbino 12 do stáří pěti let, v rámci obou typů autobusů stáří sedmi let je pak výše nákladů téměř totožná a následně při vyšším stáří vozidel je znatelný vysoký nárůst finančních prostředků na vozidla Karosa B952 oproti vozidlům Solaris Urbino 12 (viz kapitola 5.4).

6 Seznam obrázků

Obr. č. 2.1: Přehled struktury vozidlového parku [autor].....	13
Obr. č. 2.2: Přehled průměrného stáří vozidlového parku [autor]	15
Obr. č. 3.1: Širší pojetí spolehlivosti [4]	19
Obr. č. 3.2: Graf hustoty pravděpodobnosti exponenciální rozdělení [autor]	25
Obr. č. 3.3: Graf distribuční funkce exponenciálního rozdělení [autor]	25
Obr. č. 3.4: Graf distribuční funkce Weibullova rozdělení [autor].....	27
Obr. č. 3.5: Graf hustoty pravděpodobnosti Weibullova rozdělení [autor]	27
Obr. č. 3.6: Intervalový odhad parametrů Weibullova rozdělení [autor]	32
Obr. č. 4.1: Srovnání empirických intenzit poruch vozidel Karosa B952 [autor]	36
Obr. č. 4.2: Lineární regrese pro vozidla Karosa B952 stáří pěti let [autor]	39
Obr. č. 4.3: Lineární regrese pro vozidla Karosa B952 stáří sedmi let [autor].....	40
Obr. č. 4.4: Lineární regrese pro vozidla Karosa B952 stáří devíti let [autor]	41
Obr. č. 4.5: Model predikce intervalu střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel Karosa B952 [autor]	42
Obr. č. 4.6: Model predikce střední hodnoty intervalu střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel Karosa B952 [autor].....	43
Obr. č. 4.7: Model predikce intervalu střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla Karosa B952 [autor]	45
Obr. č. 4.8: Model predikce střední hodnoty intervalu střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla Karosa B952 [autor]	46
Obr. č. 4.9: Model predikce ustáleného součinitele pohotovosti vozidel Karosa B952 [autor]	48
Obr. č. 4.10: Model predikce nákladů na údržbu vozidel Karosa B952 [autor].....	51
Obr. č. 4.11: Srovnání empirických intenzit poruch vozidel Solaris Urbino 12 [autor]	52
Obr. č. 4.12: Lineární regrese pro vozidla Solaris Urbino 12 stáří pěti let [autor]	53
Obr. č. 4.13: Lineární regrese pro vozidla Solaris Urbino 12 stáří sedmi let [autor].....	54
Obr. č. 4.14: Lineární regrese pro vozidla Solaris Urbino 12 stáří devíti let [autor]	54
Obr. č. 4.15: Model predikce střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel Solaris Urbino 12 [autor].....	56
Obr. č. 4.16: Model predikce střední hodnoty intervalu střední doby mezi poruchami pro skupiny vozidel Solaris Urbino 12 [autor].....	56
Obr. č. 4.17: Model predikce intervalu střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla Solaris Urbino 12 [autor].....	59

Obr. č. 4.18: Model predikce střední hodnoty intervalu střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla Solaris Urbino 12 [autor]	60
Obr. č. 4.19: Model predikce ustáleného součinitele pohotovosti vozidel Solaris Urbino 12 [autor]	62
Obr. č. 4.20: Model predikce nákladů na údržbu vozidel Solaris Urbino 12 [autor]	65
Obr. č. 5.1: Srovnání empirických intenzit poruch vozidel stáří pěti let [autor]	66
Obr. č. 5.2: Srovnání empirických intenzit poruch vozidel stáří sedmi let [autor]	67
Obr. č. 5.3: Srovnání empirických intenzit poruch vozidel stáří devíti let [autor]	68
Obr. č. 5.4: Srovnání modelu predikce pro skupiny vozidel stejného stáří – predikce stáří 6 let [autor]	70
Obr. č. 5.5: Srovnání modelu predikce pro jednotlivá vozidla – predikce stáří 6 let [autor]	70
Obr. č. 5.6: Srovnání ustáleného součinitele pohotovosti [autor]	71
Obr. č. 5.7: Srovnání nákladů na údržbu [autor]	72

7 Seznam tabulek

Tab. 2.1: Základní technické parametry vozidla Karosa B952 (B952 E)	16
Tab. 2.2: Základní technické parametry vozidla Solaris Urbino 12	18
Tab. 4.1: Experimentální data systému Korund – náhodný výběr	34
Tab. 4.2: Vybrané údržbové zásahy	35
Tab. 4.3: Pořadová statistika pro vozidla Karosa B952 stáří pěti let	37
Tab. 4.4: Určení souřadnic bodů pro lineární regresi vozidel Karosa B952	38
Tab. 4.5: Přehled vypočtených intervalových odhadů vozidel Karosa B952	41
Tab. 4.6: Intervalový odhad střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla Karosa B952	44
Tab. 4.7: Hodnoty ustáleného součinitele pohotovosti vozidel Karosa B952	47
Tab. 4.8: Přehled nákladů na údržbu vozidel Karosa B952	49
Tab. 4.9: Přehled celkových nákladů na údržbu vozidel Karosa B952	50
Tab. 4.10: Přehled vypočtených intervalových odhadů vozidel Solaris Urbino 12	55
Tab. 4.11: Intervalový odhad střední doby mezi poruchami pro jednotlivá vozidla Solaris Urbino 12	58
Tab. 4.12: Hodnoty ustáleného součinitele pohotovosti vozidel Solaris Urbino 12	61
Tab. 4.13: Přehled nákladů na údržbu vozidel Solaris Urbino 12	63
Tab. 4.14: Přehled celkových nákladů na údržbu vozidel Solaris Urbino 12	64

8 Seznam použité literatury

- [1] Briš, R; Litschmannová, M. Statistika I [online], 2004 [cit. 4. 3. 2012]. Dostupné na WWW: <<http://www.am.vsb.cz/bris/>>.
- [2] Daněk, A; Široký, J; Famfulík, J. Výpočetní metody obnovy dopravních prostředků. Repronis Ostrava, 1999. 152 s. ISBN 80-86122-41-7.
- [3] Dopravní podnik Ostrava a.s., autobusové středisko Hranečnick, systém řízení údržby Korund. [cit. 26. 10. 2011].
- [4] Famfulík, J. Teorie údržby. VŠB – TU Ostrava, 2006. 136 s. ISBN 80-248-1029-8.
- [5] Famfulík, J; Krzyżanek; R; Galvas, P. Zkoušky spolehlivosti (vybrané stochastické metody). VŠB – TU Ostrava, 2010. 67 s. ISBN 978-80-248-2277-8.
- [6] Karosa B 952 – Wikipedie [online], [cit. 2. 2. 2012]. Dostupné na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/B952>>.
- [7] Solaris Urbino 12 Detailní technické data - Solaris Bus & Coach [online], [cit. 3. 2. 2012]. Dostupné na WWW: <http://www.solarisbus.pl/cz/urbino,15,Urbino_12,3,84.html>.
- [8] Solaris Urbino 12 – Wikipedie [online], [cit. 2. 2. 2012]. Dostupné na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Solaris_Urbino_12>.

9 Seznam příloh

Příloha A: Přehled struktury vozidlového parku

Příloha B: Průměrné stáří vozidel

Příloha C: Počet a empirická intenzita poruch vozidel Karosa B952

Příloha D: Počet a empirická intenzita poruch vozidel Solaris Urbino 12